

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**“Efecto de la aplicación de biol de estiércol de cuy (cavia porcellus)
en suelo degradado por derrame de aceites de automotores,
Huánuco 2024”**

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

AUTORA: Ponce Gargate, Claudia Evelin

ASESOR: Morales Aquino, Milton Edwin

HUÁNUCO – PERÚ

2024

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANUCO
<http://www.udh.edu.pe>

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación ambiental
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería ambiental

Disciplina: Ingeniería ambiental y geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniera ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 73387521

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44342697

Grado/Título: Maestro en ingeniería, con mención en:
gestión ambiental y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0002-2250-3288

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Calixto Vargas, Simeón Edmundo	Maestro en administración de la educación	22471306	0000-0002- 5114-4114
2	Cámara Llanos, Frank Erick	Maestro en ciencias de la salud con mención en: salud pública y docencia universitaria	44287920	0000-0001- 9180-7405
3	Campos Gonzales, Mildred Margarita	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	72257793	0009-0008- 0885-4883



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

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

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:00 horas del día 05 del mes de diciembre del año 2024, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

- Mg. Simeon Edmundo Calixto Vargas (Presidente)
- Mg. Frank Erick Camara Llanos (Secretario)
- Mg. Mildred Margarita Campos Gonzales (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 2643-2024-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **"EFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOL DE ESTIÉRCOL DE CUY (*Cavia porcellus*) EN SUELO DEGRADADO POR DERRAME DE ACEITES DE AUTOMOTORES, HUÁNUCO 2024"**, presentado por el (la) Bach. **PONCE GARGATE, CLAUDIA EVELIN**; para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

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

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO Por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 17 y cualitativo de SUFICIENTE (Art. 47)

Siendo las 17:50 horas del día 5 del mes de DICIEMBRE del año 2024, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Mg. Simeon Edmundo Calixto Vargas
DNI: 22471306
ORCID: 0000-0002-5114-4114
Presidente

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

Mg. Mildred Margarita Campos Gonzales
DNI: 72257793
ORCID: 0009-0008-0885-4883
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: CLAUDIA EVELIN PONCE GARGATE, de la investigación titulada “Efecto de la aplicación de biol de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) en suelo degradado por derrame de aceites de automotores, Huánuco 2024”, con asesor MILTON EDWIN MORALES AQUINO, designado mediante documento: RESOLUCIÓN N° 618-2022-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 17 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

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

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

Huánuco, 30 de septiembre de 2024



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

25. PONCE GARGATE, CLAUDIA EVELIN.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%	17%	2%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	www.revistasbolivianas.ciencia.bo Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

DEDICATORIA

A Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante, enseñándome que todo se puede con fuerza y voluntad.

A mi familia a quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres y hermanas por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar.

A mi hija e hijo por enseñarme ser la mejor mamá para ellos y a Jorge por apoyarme en cada paso que estoy dando profesionalmente y porque estamos formando una bonita y hermosa familia.

AGRADECIMIENTOS

A mi querido abuelito Gerardo que desde el cielo me sigue guiando cada paso que voy profesional y como persona lo extraño todos los días de mi vida.

A mi mamá Reyna por todo lo que hace y seguirá haciendo por nosotras, agradezco profundamente todas las lecciones que me enseñaste y por alentarme a nunca rendirme si todo lo aprendí de ti. Gracias por ser mi fuente de inspiración y por creer en mí incluso cuando yo dudaba de mí. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia para conseguir mis objetivos.

A mi hija e hijo por ser mis grandes motivos e inspiración para crecer como persona y como madre que ahora soy.

A los docentes de la Universidad de Huánuco, al Mg. Milton Morales, quien en su rol de asesor supo apoyarme con su conocimiento, además de los jurados el Mg. Frank Cámara y Mg. Simeón Calixto.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN.....	XI
CAPÍTULO I.....	12
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	14
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
1.3. OBJETIVOS	14
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	14
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
CAPÍTULO II.....	17
MARCO TEÓRICO	17
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	17
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	17
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	19
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	21
2.2. BASES TEÓRICAS	23
2.2.1. BIOL.....	23
2.2.2. SUELO.....	25
2.2.3. SUELO DEGRADADO	29

2.2.4. ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ.....	32
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	33
2.4. HIPÓTESIS	34
2.5. VARIABLES.....	34
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE	34
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	34
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	35
CAPÍTULO III.....	36
MARCO METODOLÓGICO	36
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	36
3.1.1. ENFOQUE	36
3.1.2. ALCANCE O NIVEL.....	36
3.1.3. DISEÑO	36
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	37
3.2.1. POBLACIÓN.....	37
3.2.2. MUESTRA	37
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	37
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	37
3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	40
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	40
CAPÍTULO IV.....	41
RESULTADOS	41
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	41
4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS	54
CAPÍTULO V.....	56
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	56
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo ..	27
Tabla 2 Diseño factorial	36
Tabla 3 Análisis pre experimento del suelo degradado	41
Tabla 4 Análisis post experimento del suelo degradado grupo control	42
Tabla 5 Análisis post experimento, grupo experimental 1	43
Tabla 6 Análisis post experimento, grupo experimental 2	44
Tabla 7 Tipo textural del suelo degradado (pre y post).....	45
Tabla 8 Procesamiento de los datos de las características químicas	46
Tabla 9 Procesamiento de los datos de los micronutrientes del suelo	51
Tabla 10 Prueba de normalidad	54
Tabla 11 Prueba de T Wilcoxon para muestras relacionadas	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Triángulo textural del suelo	45
Figura 2 pH de suelo en el experimento	47
Figura 3 Conductividad eléctrica (CE) de suelo en el experimento	47
Figura 4 Materia orgánica (MO) del suelo en el experimento	48
Figura 5 Nitrógeno (N) de suelo en el experimento	48
Figura 6 Carbono de suelo en el experimento	49
Figura 7 Fósforo (P) del suelo en el experimento	49
Figura 8 Potasio (K) del suelo en el experimento	50
Figura 9 Capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo	50
Figura 10 Calcio (Ca) del suelo en el experimento	52
Figura 11 Magnesio (Mg) del suelo en el experimento	52
Figura 12 Potasio (K) cambiabile del suelo en el experimento.....	53
Figura 13 Sodio (Na) del suelo en el experimento	53

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Preparación del terreno de trabajo	75
Fotografía 2 Insumos para el biol	75
Fotografía 3 Activación del biol	76
Fotografía 4 Sellado del tanque para la fermentación del biol.....	76
Fotografía 5 Recolección de muestras de suelo	77
Fotografía 6 Biol maduro, dosificación	77
Fotografía 7 Separación de los grupos experimentales.....	78
Fotografía 8 Dosificación del biol en los grupos experimentales	78
Fotografía 9 Visita y supervisión del experimento, por parte del jurado	79
Fotografía 10 Visita y supervisión por parte del jurado	79

RESUMEN

En este trabajo de investigación titulado “Efecto de la aplicación de biol de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) en suelo degradado por derrame de aceites de automotores, Huánuco 2024”, se tuvo por objetivo determinar el efecto de la aplicación de biol de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) en suelo degradado por derrame de aceites de automotores. Para ello la metodología fue de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo y un diseño experimental. Se hizo un preanálisis y post análisis, en 2 grupos experimentales con dosis de biol al 50% y 75% y 1 grupo control. Los resultados obtenidos muestran que el tipo textural del suelo se conserva en arena franca, el pH desde el pre análisis con 8.12; el grupo control 8.08, el grupo experimental 1 con 8.93 el grupo experimental 2 con 8.98. la CE, desde el pre análisis con 5.21 dS/m; el grupo control 7.02 dS/m el grupo experimental 1 (50%) con 6.3 dS/m (y el grupo experimental 2 (75%) con 8.98 dS/m. la MO, desde el pre análisis con 0.89%; el grupo control 1.89% el grupo experimental 1 (50%) con 2.24% (y el grupo experimental 2 (75%) con 3.56. el CIC, desde el pre análisis con 7.06 meq/100 g; el grupo control 7.05 meq/100 g el grupo experimental 1 (50%) con 12.14 meq/100 g (y el grupo experimental 2 (75%) con 20.86 meq/100 g. además, hubo incremento en los micronutrientes (cambiables), teniendo diferencias significativas en la prueba de hipótesis para la cual se usó la prueba T – Wilcoxon. Concluyendo que la aplicación de biol de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) en suelo degradado por derrame de aceites de automotores, las condiciones del suelo mejoran y la hacen favorable, esto se ve reflejada principalmente en las características químicas y macronutrientes con la aplicación del biol al 75% y con menor favor al 50%.

Palabras claves: Suelo, biol, remediación, aceites de automotores, biorremediación.

ABSTRACT

In this research work entitled Effect of the application of guinea pig manure biol (*Cavia porcellus*) in soil degraded by automotive oil spillage, Huánuco 2024, the objective was to determine the effect of the application of guinea pig manure biol (*Cavia porcellus*) on soil degraded by automotive oil spillage. To this end, the methodology was applied, with a quantitative approach and an experimental design. A pre-analysis and post-analysis was carried out in 2 experimental groups with doses of biol at 50% and 75% and 1 control group. The results obtained show that the textural type of the soil is maintained in loam sand, the pH from the pre-analysis with 8.12; the control group 8.08, experimental group 1 with 8.93, experimental group 2 with 8.98. the EC, from the pre-analysis with 5.21 dS/m; the control group 7.02 dS/m the experimental group 1 (50%) with 6.3 dS/m (and the experimental group 2 (75%) with 8.98 dS/m. the OM, from the pre-analysis with 0.89%; the control group 1.89% the experimental group 1 (50%) with 2.24% (and the experimental group 2 (75%) with 3.56. the CIC, from the pre-analysis with 7.06 meq/100 g; the control group 7.05 meq/100 g the experimental group 1 (50%) with 12.14 meq/ 100 g (and experimental group 2 (75%) with 20.86 meq/100 g. In addition, there was an increase in micronutrients (changeable), having significant differences in the hypothesis test for which the T-Wilcoxon test was used. Concluding that the application of guinea pig manure biol (*Cavia porcellus*) in soil degraded by automotive oil spillage, soil conditions improve and make it favorable, this is mainly reflected in the chemical characteristics and macronutrients with the application of biol at 75% and with less favor at 50%.

Keywords: Soil, biol, remediation, automotive oils, bioremediation.

INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo es uno de los problemas ambientales más críticos que enfrenta la humanidad, afectando la productividad agrícola, la biodiversidad y la calidad de los ecosistemas. Entre las diversas causas de esta degradación, los derrames de aceites de automóviles representan una fuente significativa de contaminación, debido a la liberación de hidrocarburos y metales pesados que alteran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La remediación de suelos contaminados por aceites usados es un desafío, ya que requiere métodos eficaces y sostenibles para restaurar la salud y la fertilidad.

En este contexto, el uso de bioles, que son fertilizantes líquidos obtenidos a partir de la fermentación anaerobia de estiércol, surge como una alternativa prometedora. El biol de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) es particularmente interesante debido a su alto contenido de nutrientes esenciales y compuestos bioactivos que pueden mejorar la estructura del suelo, aumentar la actividad microbiana y promover su restauración.

El presente estudio se centra en evaluar el efecto de la aplicación de biol de estiércol de cuy en suelos degradados por derrames de aceites de automóviles. La investigación busca determinar si este tratamiento puede mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo, fomentar la actividad biológica y reducir la concentración de contaminantes, contribuyendo así a la rehabilitación de suelos afectados por actividad.

Este estudio pretende aportar conocimientos valiosos sobre el uso de bioles como una estrategia viable y ecológica para la recuperación de suelos contaminados, proporcionando una herramienta útil para la gestión sostenible de recursos naturales y la mitigación de impactos ambientales.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La degradación de los suelos presenta una inquietud creciente. Se le considera una de las principales amenazas para la salud del suelo en varias regiones del mundo, ocupando diferentes niveles de gravedad dependiendo del área geográfica. Además, la presencia de contaminantes puede alterar los ciclos nutritivos y causar el acidar del terreno. En naciones de ingresos menores y medios, la escasez de datos hace que este problema global pase desapercibido a nivel internacional. La contaminación del suelo se da cuando hay una concentración anormalmente alta de químicos o sustancias, lo que puede ser perjudicial (Rodríguez et al., 2019, p. 1-3).

El calentamiento global y la actividad humana son causas importantes del deterioro del suelo. En América Latina, se anticipan resultados adversos debido al aumento de temperaturas, incluyendo daños a los bosques tropicales, deterioro de fauna y flora, reducción en la producción agropecuaria, alteraciones en las lluvias y problemas con la disponibilidad de agua. Entre un 27% y un 43% del territorio de Bolivia, Chile, Ecuador y Perú enfrenta desertificación, afectando significativamente a sus habitantes. Bolivia es el más afectado, con seis millones de personas viviendo en zonas comprometidas. Además, la costa peruana ha experimentado problemas por salinidad e crecidas (Comisión Europea, 2013).

Los suelos contaminados en el Perú son generados principalmente por residuos tóxicos y demás desechos humanos, además del incremento de vehículos y su mantenimiento. En 2018, se detectaron 8,791 lugares contaminados debido a la liberación de materiales o residuos, una cifra ligeramente inferior a la del año anterior. En las últimas décadas, ha habido un declive en los bosques, lo que ha mermado sus funciones ecológicas. Estas incluyen proporcionar refugio y sustento a una gran variedad de fauna y microorganismos, cuidar la tierra del impacto de las precipitaciones, disminuir la fuerza del viento para prevenir la erosión, atenuar los extremos de

temperatura y regular el ciclo y la disponibilidad del agua (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2020).

La pérdida de biodiversidad, degradación y contaminación del suelo, sigue siendo un problema que no se toma en las políticas de desarrollo. Más allá de la aplicación de pesticidas, los lixiviados de los residuos sólidos, los lubricantes derivados del petróleo son directos destructores de la biodiversidad del suelo, alterando su composición y acelerando su infertilidad. Huánuco solo es un reflejo de lo que sucede a nivel nacional, las actividades antrópicas se ven reflejados en los cambios de usos de suelo, no solo para usos agrícolas sino también para satisfacer la demanda de actividades como el servicio de mantenimiento de vehículos motorizados, estas actividades desechan aceites residuales que contienen derivados de hidrocarburos, que destruyen la vida en el suelo y degradan su fertilidad, porque no son biológicamente degradables.

En gran manera esta problemática de los aceites residuales afecta a los suelos, puesto que no existe una estrategia de desarrollo y manejo correcto en las calles donde están ubicados los talleres dentro de la ciudad de Huánuco y a los alrededores, donde usan y desusan tal residuo que es considerado como peligroso.

Dado lo mencionado, es crucial desarrollar estrategias que contribuyan a la conservación del suelo y sus servicios ecosistémicos, utilizando tecnologías limpias y fáciles de aplicar. Por ello, la recuperación del suelo mediante el uso de biofertilizantes de estiércol de cuy se presenta en esta investigación como una alternativa biotecnológica para promover un desarrollo sostenible.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuál es el efecto de la aplicación de biol de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) en suelo degradado por derrame de aceites de automotores, Huánuco?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuáles son las características físicas del suelo pre y post aplicación del biol?
- ¿Cuáles son las características químicas del suelo pre y post aplicación del biol?
- ¿Cuáles son las características de los micronutrientes del suelo pre y post aplicación del biol?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar el efecto de la aplicación de biol de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) en suelo degradado por derrame de aceites de automotores, Huánuco.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las características físicas del suelo pre y post aplicación del biol.
- Determinar las características químicas del suelo pre y post aplicación del biol.
- Determinar las características de los micronutrientes del suelo pre y post aplicación del biol.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La creciente demanda del parque automotor en la ciudad de Huánuco se ha puntualizado abismalmente generando contaminantes incontrolables lejos del monitoreo ambiental. El común oferente de la ciudad habita el sector bajo

los efectos del suelo contaminado por hidrocarburo, emisiones gaseosas, efluentes y residuos peligrosos que no tienen una adecuada disposición final.

De otro lado, los aceites degradan, contaminan y alteran negativamente los suelos, puesto que son derivados del petróleo crudo y difíciles de desprender residuos del suelo, dado las razones planteadas se propone como parte de la investigación la aplicación de biol de excremento de cuy (*Cavia porcellus*) como aporte en mejorar este tipo de problema que atraviesan los suelos.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La calidad y composición del biol pueden variar según la dieta de los cuyes, el método de preparación, y las condiciones de fermentación. Esto puede afectar la consistencia de los resultados.

Determinar la dosis óptima y la frecuencia de aplicación puede ser complicado y puede requerir pruebas extensivas. Aplicaciones incorrectas pueden llevar a resultados ineficaces o incluso adversos.

Algunos compuestos hidrocarburos pueden ser muy recalcitrantes y no fácilmente degradables, incluso con la ayuda del biol. Esto puede limitar la efectividad total de la biorremediación.

Factores como la temperatura, humedad, y características específicas del suelo pueden influir en la efectividad del biol. Lo cual puede reducir la actividad microbiana y la degradación de contaminantes.

El uso de estiércol como materia prima puede introducir patógenos o contaminantes secundarios en el suelo, lo cual requiere medidas de control y monitoreo adecuados.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La viabilidad de la investigación se consigna en los tópicos siguientes:

- Viabilidad ambiental: El suelo contaminado degradado por aceites de automotor se considera un problema ambiental el cual fue estudiado y

analizado para proponer nuevas estrategias de restauración óptima y amigable con el ambiente.

- Viabilidad operativa: Las soluciones con efectos positivos hicieron de la investigación viable operativamente, puesto que se aplicaron de modo sencillo, sin afectar otros aspectos.
- Viabilidad técnica: estuvo sujeta al asesoramiento de docentes conocedores y con experiencia de la investigación además de la aplicación del método científico durante el desarrollo del mismo.
- Viabilidad económica: Los recursos económicos fueron asumidos por la investigadora, lo cual se hizo viable durante el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Goya (2020) en su Tesis titulada: *“Análisis de las estrategias para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos totales de petróleo (TPH)”* Universidad de Guayaquil – Ecuador. Tuvo como **objetivo**: Elaborar un documento que describa las principales metodologías de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos totales de petróleo, así como los criterios que definen su efectividad. **Metodología** se realizó un acopio de bibliografía en la que se identificó como la biorremediación es eficaz. **Resultados** los factores ambientales deben favorecer el desarrollo in situ de los microorganismos responsables de la biorremediación o la extracción del contaminante permitiendo su biodegradación ex situ en biorreactores. En los estudios de biorremediación, se lograron tasas de éxito que varían entre el 55,0% y el 97,9%, según del tipo de organismo y las condiciones ambientales. **Concluyendo** que los procesos de biorremediación de los hidrocarburos totales del petróleo demuestran ser efectivos y sostenibles.

Mondaco et al. (2019) en su investigación titulada: *“Aplicación de biofertilizante con bacterias halófilas y yeso sobre características químicas - biológicas de un suelo salino-sódico Apthapi”* Universidad Mayor de San Andrés – Bolivia. El **objetivo** fue evaluar el efecto de la aplicación de biofertilizante con bacterias halófilas y yeso sobre características químicas y biológicas de un suelo salino-sódico. **Metodología**: Se utilizó suelo del municipio de Sica Sica, en el departamento de La Paz. En la primera fase, se llevaron a cabo pruebas para aislar, seleccionar y repicar bacterias halófilas, asimismo de evaluar el crecimiento bacteriano y la viabilidad en un medio líquido con dosis de biol. En la segunda fase, se midieron variables del suelo como la conductividad eléctrica, el sodio intercambiable y el pH. Se usaron 16

macetas con bacterias halófilas y 16 con yeso en un diseño completamente aleatorio. En la fase 1, se marcó la colonia anaranjada por mostrar el mayor crecimiento. **Resultados:** En los ensayos de crecimiento bacteriano y viabilidad utilizando dos fuentes de carbono (glucosa a 10 g/L y biol al 10%), se encontró que la glucosa era una mejor fuente de carbono en comparación con el biol. En la segunda fase, tras ajustar la dosis de biol, la conductividad eléctrica disminuyó a partir de la cuarta semana por la biosorción por parte de las bacterias, pasando de un suelo muy salino a uno salino. **Concluyendo** que el pH se redujo debido al suelo ácido causada por la actividad microbiana durante la respiración. Además, aunque no de manera significativa, el sodio intercambiable también disminuyó. En las macetas tratadas con yeso, la conductividad eléctrica se redujo en todos los tratamientos.

Santoyo et al. (2019) en su investigación: “*Biorremediación y fitorremediación de suelo impactado por 85,000 ppm de aceite residual automotriz*” Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México. Tuvo por **objetivo** bioestimular el suelo impactado por 85,000 ppm de aceite residual automotriz y fitorremediar mediante *Phaseolus vulgaris* potenciado con *Micromonospora echinospora* y/o *Streptomyces griseus* la eliminación del aceite residual automotriz a un valor menor al máximo avalado por la NOM-138. La **metodología** usada en la bioestimulación, la concentración fue la variable-respuesta al principio y deceso de aceite residual automotriz; en la fitorremediación Se estudiaron varios aspectos fenológicos de *P. vulgaris*, incluyendo la altura de la planta, la longitud de la raíz, la biomasa, el peso fresco y seco tanto de la parte aérea como de la raíz en la etapa de plántula. La información obtenidos se analizaron utilizando ANOVA y Tukey HSD con un nivel de significancia del 0.05%, empleando el software estadístico Statgraphics Centurión. Los **resultados** mencionan que la BIS de suelo por 85,000 de ARA disminuyo 29,000 ppm en un plazo de 150 días; en la FITO mediante *M. echinospora*, *P. vulgaris* con y/o *S. griseus* la menoraron en 180 días a 1,492 ppm. Se **concluye** donde la bioestimulación y fitorremediación de suelo cargado por un grado mayor

de concentración de aceite residual automotriz, fue óptimo para disminuir a un grado bajo al más representado por la NOM-138

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Padilla (2020) en su Tesis titulada: *“Efecto de dos tipos de biol y tres momentos de aplicación sobre la producción de legumbres del frijol común (Phaseolus vulgaris L.) tipo bayo”* Universidad Nacional de Piura. Tuvo por **objetivo** Determinar el efecto de dos tipos de Biol y de tres momentos de aplicación sobre la producción de legumbres en el frijol común (Phaseolus vulgaris L.). **Metodología:** Se utilizó semilla de frijol común de la variedad Tipo Bayo. La investigación se llevó a cabo con un diseño experimental, desarrollando niveles descriptivos y explicativos. Se empleó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar (BCA) con parcelas separadas, donde se estudió el factor Tipo de Biol en las parcelas y el factor momento de aplicación en las subparcelas. **Resultados:** El suelo utilizado tuvo un pH igual a 7.03 y una textura franco arenoso, nitrógeno total y materia orgánica en mínima cantidad, nivel alto de potasio y nivel de fósforo medio. No se detectaron problemas de salinidad en el suelo experimental. Los resultados del experimento son: 1. El biol 1 fue el tipo de biol que tuvo el mejor efecto en la producción de legumbres en el frijol común, tipo Bayo. 2. El Botoneo floral fue el de mejor efecto sobre la producción de legumbre en el frijol común tipo bayo al momento de aplicación del biol. 3. La combinación de los factores analizados tuvieron un impacto en las características morfo-productivas y capacidad productiva del frijol común, tipo bayo. **Concluyendo** el beneficio costo generado de la mejor relación es, la combinación del Biol 1 x Botoneo floral con la valoración de 5.04

Coronado (2018) en su Tesis titulada: *“Eficiencia de las micorrizas y del biol en el rendimiento del Phaseolus vulgaris, en suelos de Laredo”* Universidad César Vallejo, Trujillo. Tuvo como **objetivo** demostrar la eficiencia de las micorrizas y del biol, incentivando el uso de productos orgánicos, y con ello incentivar el uso de técnicas sostenibles en la agricultura. **Metodología:** Se empleó un diseño que prevé un grupo

control, se seleccionaron cinco puntos representativos del suelo en el sector Barraza-Laredo, Trujillo. Para el análisis de normalidad y homogeneidad de varianzas, se utilizaron variables de taxonomía y rendimiento, aplicando las pruebas de Anderson-Darling y Levene. Luego al completarse estos supuestos se hizo las pruebas se utilizaron métodos paramétricos del análisis de varianza (ANVA) y, posteriormente, la prueba de comparaciones múltiples LSD (diferencia mínima significativa) para comparar los resultados mediante la formación de subgrupos. Además, se aplicó la correlación del rendimiento con la altura y las características del suelo utilizando la prueba de Rho de Spearman, debido a que no se cumplió el supuesto de normalidad. Los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de confianza del 95%, utilizando el software Minitab versión 18 Los **resultados** encontrados manifestaron que el G2 (relación 1:1), fue mejor en taxonomía con una altura promedio de 2.343 metros y el tratamiento G1 (relación 1:2), fue el mejor rendimiento entre todos los grupos experimentales con 3311 kg/ha; dejando al testigo GC sin resultados de desarrollo productivo del frijol. De igual manera, los tratamientos G3 y G4 presentaron los menores rendimientos, con una eficiencia promedio de 1791 y 1136 kg/ha de frijol, respectivamente. En cuanto a la altura, los grupos G3 y G4 también mostraron las menores longitudes, con promedios de 128 y 96 metros, respectivamente Se **concluye** que entre todos los grupos experimentales la micorriza presenta el máximo rendimiento.

Durand (2018) en su Tesis: *“Producción de biol utilizando mezcla de heces vacunos y cuy, para mejorar la producción de alfalfa (Medicago sativa) Pariacoto”* Universidad César Vallejo – Lima. Tuvo como **objetivo** evaluar de cuan eficiente resultan ser los bioles a partir de 3 diferentes proporciones de mezcla de heces vacunos y cuyes para la mejora de producción de alfalfa (Medicago sativa) con el propósito de crear una alternativa de disminución de residuos fecales en el distrito de pariacoto, con la producción del biol in situ, se desarrolla una respuesta viable con respecto a la problemática de los residuos, así como una solución económica, para el distrito de pariacoto por la dedicación a la agricultura.

Metodología: La investigación dio inicio con la recolección de residuos fecales de ganado vacuno y cuyes, los cuales se distribuyeron en tres biodigestores discontinuos de tipo anaeróbico durante un tiempo de dos meses. Para aplicar los bioles, primero se alistó la tierra en parcelas de 4 m² por cada biol y tiempo de aplicación (7, 14 y 21 días), considerando también una parcela de control de 4 m², sumando un total de 40 m². Finalmente, se determinó que el biol 1, con un tiempo de aplicación de 7 días, es la mejor opción para mejorar la alfalfa. **Resultados:** En el biol 1 al tiempo de 15 días obtuvo, un total de 102 brotes en 14 días de aplicación y el mínimo de 86 brotes en 21 días de aplicación. Para los dos casos son mayores al testigo el máximo como el mínimo. En el biol 2, a los 15 días, se alcanzaron hasta 122 brotes con un tiempo de aplicación de 7 días y al menos 90 brotes con un tiempo de aplicación de 21 días. De igual manera, tanto el valor máximo como el mínimo superan al del testigo. En el biol 3, se lograron hasta 97 brotes a los 15 días, en un periodo de aplicación de 21 días y al menos 75 brotes con un periodo de aplicación de 14 días. Donde, el valor máximo supera al del testigo, pero el mínimo es inferior al testigo. **Concluyendo** que la opción más viable para mejorar la alfalfa es el biol 1 aplicando cada 7 días que presenta 50% de heces de cuy y 50% de heces de vacuno, donde los parámetros fisicoquímicos indicaron 5521.22 mg/L de N, 18.90 dS/cm de conductividad eléctrica, 7.25 de pH, 6734.21 mg/L de k, 30.42 g/L, 36.32 g/L de materia orgánica, 3280.14 mg/L de P.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Noreña (2018) en su Tesis titulada: *“Evaluación del estiércol de cuy de la granja montero y aguas residuales del camal municipal de Huánuco para la producción de biol mediante biodigestores del tipo semicontinuo”* Universidad de Huánuco. Tuvo por **objetivo** evaluar los parámetros físicos y químicos del biol a los 30, 60 y 90 días; como resultado de la interacción del estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) de la granja Montero y del agua residual del camal municipal de Huánuco. **Metodología:** Se produjo biol utilizando biodigestores de tipo semicontinuo en un proyecto

realizado entre diciembre de 2017 y marzo de 2018 en el Centro de Investigación en Tratamiento de Agua y Ecosistemas Contaminados (CITAEC). Este centro forma parte de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, ubicada en el campus de la Universidad de Huánuco, en el distrito de La Esperanza, provincia y departamento de Huánuco. El método fue de tipo experimental puro, donde se llevó a cabo un tratamiento con tres repeticiones, homogenizando todas las variables involucradas en cada etapa de evaluación. Para el análisis estadístico paramétrico se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95 %, y para el análisis no paramétrico se empleó el Test de Kruskal-Wallis, obteniendo los siguientes **resultados** para el análisis proximal; H: 95.16 %, MS: 4.84 %, NBS: 8.78%; CBH: 0.92 %, MOBH: 3.92 % y NBH: 0.11 %, sin diferencias estadísticas significativas entre las repeticiones. En cuanto a los parámetros físicos, la temperatura interna no mostró diferencias estadísticas significativas, pero sí se observaron diferencias significativas en los parámetros de temperatura ambiental, pH, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos. Para los parámetros químicos, no hubo diferencias estadísticas significativas en Cu, Fe, P₂O₅, K, Mn y Zn; pero sí en Mg, Ca y Na. **Concluyendo** de tal manera que el biol generado contiene concentraciones necesarias de P₂O₅, N₂ y K; lo que sugiere su potencial uso como fertilizante foliar en la agricultura.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. BIOL

Warnars & Oppenoorth (2014) Se señala que el biol se emplea para incrementar la fertilidad del suelo, mejorar su estructura y aumentar la productividad de los cultivos. Además, existe una relación interesante entre el biogás, que se utiliza como sustituto de los combustibles de biomasa o fósiles en la cocina, y la agricultura sostenible. El biol presenta tantas ventajas que podríamos llamarlo biol de oro. Sin embargo, muchas familias aún no conocen sus beneficios. Este documento tiene como propósito resumir las ventajas y posibles aplicaciones del biol, con el fin de aumentar el conocimiento y mejorar las prácticas relacionadas con su uso.

Los efectos del uso del biol se equiparán a los de los fertilizantes químicos, lo que lo convierte en una alternativa viable a estos. Sin embargo, la ausencia de servicios de extensión eficaces para el manejo de residuos animales representa una importante carencia en el conocimiento de los agricultores que se dedican a la producción porcina a nivel comercial. Los desechos animales son una fuente significativa de contaminación que impacta la calidad del agua a nivel global. Además, con la creciente urbanización, los agricultores se ven obligados a usar estiércol en cantidades superiores a las recomendadas, aplicándolo frecuentemente de manera inexacta y en momentos inapropiados.

El biol es útil para crear un suelo fértil y saludable para el cultivo de plantas. Puede aplicarse en estado líquido, como compost o seco, y es un excelente fertilizante para la agricultura. Cuando el estiércol está seco, es crucial agregar más agua. El biol es más accesible que el compost tradicional. Además, se puede mezclar con compost de residuos vegetales para enriquecerlo, utilizando una parte de biol por tres partes de compost. El biol proporciona nutrientes de rápida absorción para las plantas y posee mayores concentraciones de nutrientes y micronutrientes en comparación con el estiércol de granja y el compost de estiércol. Una familia que posee una planta de biogás dispondrá de

biogás limpio y económico, además de una fuente continua y accesible de estiércol de alta calidad para sus cultivos.

El biol puede presentarse en diversas maneras y su composición varía según el digestor y los nutrientes que contenga. El biol totalmente procesado es fácil de reconocer, similar al compost: tiene un buen olor, puede contener pequeños organismos vivos y es de color marrón o negro, pero no se pueden identificar sus componentes originales. Este biol se puede usar como fertilizante para mejorar la fertilidad del suelo y aumentar su rendimiento y producción. Los nutrientes, las dosis de aplicación, la programación y las formas del biol influyen en la producción de los cultivos, y estos aspectos se abordan rápido.

2.2.1.1. FORMAS DEL BIOL Y SU APLICACIÓN

El biol puede utilizarse como fertilizante foliar, aplicándolo en forma líquida (diluido) sobre las raíces de los cultivos, o en forma seca o como compost, combinado con técnicas de riego para asegurar que los cultivos reciban suficiente agua. Es crucial considerar los riesgos de aplicar biol directamente sobre los cultivos o al integrarlo en los suelos. A menudo se piensa, de manera incorrecta, que el proceso anabólico de la digestión elimina todos los patógenos presentes en el estiércol animal, así como los nematodos y los virus. A continuación, se detallan las tres formas de biol: líquido, seco y en compost.

- **Forma líquida**

El biol en forma líquida puede usarse mediante pulverización foliar, con un canal de riego o cubo, aplicándose sobre los cultivos. Así mismo sirve como fertilizante o revestimiento superficial para el suelo. En caso de cultivo estándar, debe diluirse en varias proporciones según el tipo de biodigestor disponible (ver la tabla de proporciones de dilución más adelante). Ya que la alta concentración de fósforo y amoníaco soluble en el biol puede ser tóxica para el crecimiento de las plantas y quemar las hojas.

- **Forma seca**

Muchos agricultores optan por el biol seco porque es más fácil de transportar que el líquido. Sin embargo, el biol seco pierde parte de su nitrógeno, especialmente el amonio, lo que reduce su valor nutritivo. Por ello, debe aplicarse lo antes posible para minimizar esta pérdida.

- **En forma de compostaje**

El biol en presentación de compost es una solución ideal para los problemas asociados con el transporte del biol líquido y la pérdida de nutricional del biol seco. Porque, una parte de biol da para compostar entre tres y cuatro partes de materia vegetal seca, lo que aumenta la cantidad de compost disponible en la agricultura. Así, los materiales secos acumulan agua del biol, humedeciendo y pulverizando el estiércol, lo que facilita su transporte.

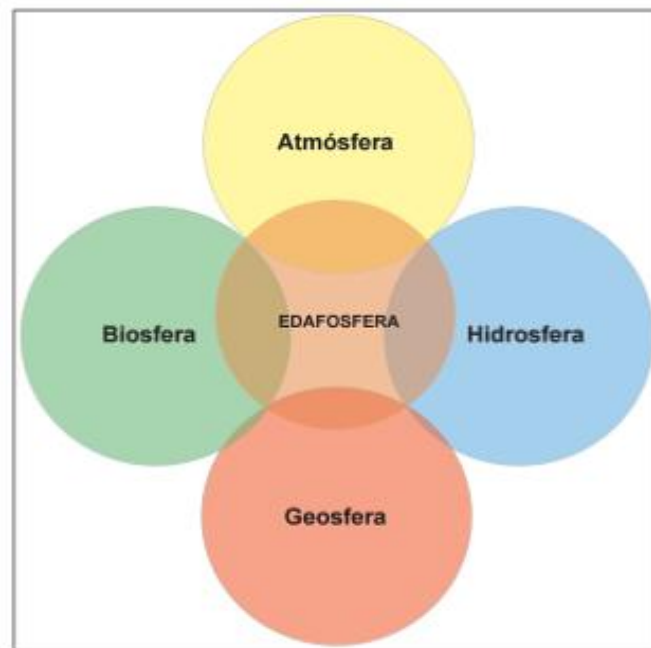
2.2.2. SUELO

Según Jiménez (2017) el suelo es una entidad natural, tridimensional y dinámica que actúa como la epidermis de la Tierra, cubriendo su superficie. Siendo un sistema abierto, muy complejo, con una estructura definida y múltiples funciones. Es uno de los recursos naturales más valiosos, ya que desempeña numerosas funciones, siendo la producción de alimentos una de las más destacadas. Además, el suelo es fundamental para sustentar la vida y desempeña un papel crucial en el medio ambiente. Por lo general todo suelo contaminado o no poseen muchos compuestos naturales tales como: metales, no metales, sales y iones inorgánicos carbonatos, sulfatos, fosfatos, y nitratos, de igual forma otros compuestos orgánicos como hidrocarburos, alcoholes, ácidos grasos y lípidos. Este grupo de compuestos se forma principalmente mediante una serie de procesos resultantes de la actividad microbiana en el suelo y la descomposición de organismos, principalmente plantas y animales. Al ser grande las cantidades de dichas sustancias que pueden contaminar el suelo superan los niveles

naturales, se considera que el suelo está contaminado. Además, si varios compuestos de diferentes fuentes, como la quema de combustibles, derrames o actividades en la agricultura se introducen en grandes cantidades en el suelo, estaremos refiriéndonos a la contaminación del suelo. Por lo tanto, la principal causa de la contaminación del suelo suele ser de origen antropogénico.

Figura 1

La Edafosfera en el centro de la interfase de integración de los demás sistemas



Nota. La edafósfera sería la capa superficial del suelo que rodea la tierra ocupando, el espacio entre la geósfera, atmósfera, biosfera e hidrosfera en la conocida zona crítica o lugar más concurrente y superficial del planeta (Jiménez, 2017, p. 3).

Navarro & Navarro (2013) Indica que la calidad del suelo no es constante, ya que puede variar en un corto período todo depende principalmente del uso y las prácticas en las culturas. Un adecuado mantenimiento y mejora de suelo tiene otros beneficios a parte de lo económico, teniendo mejor productividad, uso más eficiente de plaguicidas y fertilizantes, una mejor calidad del agua, aire y una reducción en la emisión de gases de invernadero y sus efectos.

La evaluación de la composición del suelo se identifica, siempre, por una subida o bajada de alguna de sus componentes. Por ejemplo, puede aumentar el porcentaje de infiltración por aumento de los

macroporos, como consecuencia de una mejora de la estructura y gran aumento de material orgánico. Pero pueden disminuir la resistencia a la labranza, la densidad aparente, pérdida de nutrientes y el crecimiento radicular. Una mejor evaluación se consigue si, junto a las variaciones señalados, se incluyen otro indicador ecológico-biológico, como el rendimiento de los cultivos, la biodiversidad genética, su desarrollo radicular, el vigor de las plantas, y la pureza del agua que drena en superficie o percola a niveles inferiores.

Tabla 1

Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo

Propiedad	Relación con las funciones y condiciones del suelo
<i>Indicadores físicos</i>	
Textura	Erosión del suelo y acumulación y transporte de agua y nutrientes.
Profundidad del suelo superficial.	Cálculo de la capacidad productivo y de la erosión
Infiltración y densidad aparente.	Capacidad de lixiviación, erosión y productividad
Capacidad de retención de agua.	Vinculado al porcentaje de humedad, humedad aprovechable, transporte y erosión; (MO) y textura
<i>Indicadores químicos</i>	
Materia Orgánica (N y C total)	Potencial productivo, estabilidad y erosión, fertilidad del suelo.
pH	Valores para el proceso químico y biológico para el desarrollo de plantas y actividad microbiana.
Conductividad eléctrica P, N, K extraíbles	Determina la actividad microbiana y vegetal. Indicadores de calidad ambiental, disposición de nutrientes para la flora.
<i>Indicadores biológicos</i>	
C y N de la biomasa microbiana.	Reposición de C y N y potencial catalizador de la actividad microbiana.
Respiración, humedad y temperatura.	Estimación de la biomasa y la medida de actividad microbiana.
N mineralizable	Suministro de N y la productividad del suelo.

Nota. La determinación es compleja por la multiplicidad de las condiciones químicos, físicos y biológicos que controlan los procesos biogeoquímicos y su variación en capacidad en lo que respecta al espacio y tiempo. (Navarro & Navarro, 2013).

La pureza del suelo puede ser estudiada a través de indicadores que muestran los cambios en su capacidad y función. Los indicadores más utilizados se relacionan con las propiedades biológicas, físicas, químicas del suelo.

2.2.2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas del suelo son fundamentales para evaluar su calidad, Así mismo estas características pueden ser utilizadas como indicadores de pureza del suelo y la forma en la que las usa mediante la absorción, retención y distribución de agua a las plantas. También se consideran las limitaciones que pueden afectar el crecimiento de las raíces, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil del suelo, las cuales están relacionadas con la disposición de las partículas y los poros. Las características físicas del suelo propuestas como indicadores de su calidad incluyen la densidad aparente, estructura, estabilidad de los agregados, infiltración, profundidad del horizonte superficial, conductividad hidráulica saturada y la capacidad de retención de agua (Jaramillo, 2002).

2.2.2.2. INDICADORES QUÍMICOS

Los indicadores químicos sugeridos se relacionan con condiciones que influyen en las interacciones entre el suelo y las plantas, la calidad del agua, la capacidad de amortiguación del suelo, y la disponibilidad de agua y nutrientes para la fauna y la flora. Algunos de los indicadores incluyen la disponibilidad de nutrientes, el carbono orgánico total y lábil, el pH, la conductividad eléctrica, poder de adsorción de fosfatos, las variaciones en la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, así como el nitrógeno total y el nitrógeno mineralizado (Jaramillo, 2002).

2.2.2.3. INDICADORES BIOLÓGICOS

Los indicadores biológicos sugeridos abarcan numerosos factores que influyen en la calidad del suelo, como la cantidad y los subproductos de microorganismos y macroorganismos, entre ellos nemátodos, lombrices, bacterias, anélidos, artrópodos y hongos. Integran funciones como la respiración, las tasas de descomposición de los desechos vegetales, los niveles de N y C de

la biomasa microbiana, así como el ergosterol y otros subproductos de los hongos.(Jaramillo, 2002).

2.2.3. SUELO DEGRADADO

La contaminación de suelo involucra a las etapas de la degradación y sus variaciones es decir sus propiedades según lo mantiene Jiménez (2017) Cuando el suelo llega a un estado de madurez y equilibrio, puede mantenerse dinámicamente en esa condición durante mucho tiempo. No obstante, este equilibrio puede ser fácilmente alterado, principalmente debido a actividades humanas como la agricultura, la industria, la minería y la ganadería. Este tipo de alteración negativa del suelo se denomina degradación, la cual abarca cualquier proceso que reduce la capacidad actual y futura del suelo para generar bienes y servicios, tanto en cantidad como en calidad. Pues que la formación y regeneración del suelo son procesos muy lentos, mientras que la degradación ocurre mucho más rápidamente, incluso hasta su destrucción, es evidente la necesidad de controlar estos procesos.

La contaminación del suelo algunas veces se considerar una forma de degradación química, implicando procesos que resultan en la pérdida de productividad. Esto ocurre cuando el suelo recibe sustancias tóxicas en concentraciones que exceden su capacidad de resistencia natural de autodepuración. En este contexto, la acumulación de sales también puede ser vista como un tipo de contaminación. (Bonadeo et al., 2017).

En cualquier caso, se entiende que se debe verificar simultáneamente en un suelo contaminado lo siguiente:

- La existencia de materiales (componentes químicos) de peligrosos orígenes.
- principalmente que parta de las actividades humanas la procedencia de estos compuestos peligrosos.
- que no se pueda aceptar los riesgos existentes relacionados con los componentes químicos.

Cuando en el suelo se juntan sustancias en niveles que afectan negativamente su comportamiento, se considera que está degradado. Estas sustancias, en dichas concentraciones, resultan tóxicas para los organismos del suelo y provocan una pérdida parcial o total de su productividad. Los suelos, dependiendo de su composición y características que determinan su capacidad de auto depuración, pueden quedar saturados si reciben más contaminantes de los que pueden manejar. En otras palabras, el suelo actúa como un verdadero sumidero, ya que puede absorber una gran cantidad de contaminantes provenientes de los subproductos o residuos de la producción industrial, agrícola, ganadera, entre otros. Así, el suelo funciona como una barrera protectora, ya que puede filtrar, descomponer, neutralizar o almacenar contaminantes, lo que ayuda a prevenir en gran medida que estos se conviertan en tipos biodisponibles (Osorio et al., 2022).

Sin embargo, cuando se exceden los límites de autodepuración, el suelo se convierte en un área contaminada, lo que representa un problema porque ahora actúa como una fuente de contaminantes. Para explicar este concepto, se ha introducido recientemente la idea de carga crítica, que es la cantidad máxima permitida de un contaminante antes de que se sobrepase el límite de toxicidad. El suelo puede recibir una amplia variedad de sustancias contaminantes, tanto orgánicas como inorgánicas, resultantes de diversas fuentes. Por ejemplo, los pesticidas se aplican directamente mediante tratamientos superficiales o aéreos. Otros contaminantes se concentran en el suelo a través de la lluvia o el polvo atmosférico. (Osorio et al., 2022).

Encinas (2011) Menciona los suelos contaminados se refieren al desequilibrio en sus propiedades físicas, químicas o biológicas, causado por la acumulación de sustancias en cantidades que resultan tóxicos para los organismos que habitan en él. Esto lleva a una disminución en la productividad del suelo. A diferencia de lo que sucede en el aire y el agua, los contaminantes en el suelo tienden a ser menos móviles. Los procesos de dilución son prácticamente inexistentes. Solo una mínima parte de la contaminación del suelo se elimina mediante riego, lixiviación

o escorrentía. Considerando que el desarrollo completo de un suelo toma aproximadamente unos 10,000 años, se puede afirmar que una vez contaminado, el suelo no se regenera por sí mismo. (p. 79).

2.2.3.1. SUELO Y SU INTERACCIÓN CON LOS CONTAMINANTES

El suelo proporciona importantes servicios ecosistémicos, como el filtrado, amortiguación y transformación de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Esta función crucial asegura la calidad del agua subterránea y la producción segura de alimentos. Cuando los contaminantes entran en el suelo, pasan por procesos fisicoquímicos, físicos, microbiológicos y bioquímicos que los degradan, retienen o reducen.

Las características del suelo que influyen en el desenvolvimiento de los contaminantes incluyen su mineralogía, la cantidad de materia orgánica y contenido de arcilla (textura), el pH (acidez), la temperatura y los niveles de humedad. Además, las características de los contaminantes, como su estructura molecular, forma, distribución de cargas, naturaleza ácido-base, solubilidad y tamaño también son cruciales. (Rodríguez et al., 2019).

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) forman un conjunto de contaminantes de procedencia orgánicos semi-volátiles insistentes, a lo que conlleva un gran conjunto de moléculas fisicoquímicamente de otros tipos, constituidas por dos o más anillos de benceno irremplazables fusionados cuando se brindan dos de átomos de carbonos de uno al otro. Los HAP más recientes son fluoranteno, naftaleno, antraceno, fenantreno, benzopireno y pireno, son muy bajos en solubilidad en agua y Las bajas velocidades de transferencia de masa en la fase sólida pueden reducir su accesibilidad para los microorganismos, lo que dificulta la atenuación natural mediante procesos microbianos. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos se juntan en los suelos

debido a su durabilidad e hidrofobicidad, y suelen permanecer en el suelo durante largos periodos.

2.2.4. ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ

Desde el punto de vista de ATSDR (1997) se le define como un líquido tipo aceitoso de color marrón a negro que se extrae del motor de los automóviles durante el cambio de aceite es parecido al aceite nuevo, pero contiene sustancias químicas adicionales que se generan o acumulan cuando se utiliza como lubricante de motores. Su olor es parecido al del aceite nuevo y contiene las mismas sustancias químicas presentes en el aceite sin usar. Esto contienen hidrocarburos alifáticos de cadena lineal e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), que se obtienen del petróleo crudo, junto con varios aditivos para ser más eficientes en el uso del aceite en el motor. Los hidrocarburos alifáticos presentan cadenas simples o ramificadas siendo moléculas. Los hidrocarburos aromáticos son compuestos con carbonos los cuales no presentan saturación que componen anillos de seis átomos y tienen características iguales al benceno.

Cada año se genera una gran cantidad de aceite usado de cárter debido a los cambios de aceite que se realizan periódicamente. Este aceite en su mayoría se vierte en el medio ambiente o se recicla, aunque también tiene otros diversos usos. Varias industrias lo combinan con otros aceites para crear diferentes tipos de lubricantes. El aceite usado puede arder a temperaturas entre 300 y 400 °C, de acuerdo a su composición química. Se ha utilizado como combustible en quemadores domésticos, calderas industriales, hornos de cemento rotatorios e incineradores municipales. También se emplea en la producción de asfalto. Tiempos atrás, se usaba en caminos de tierra para manejar el material particulado, aunque actualmente la mayoría de los municipios restringen este uso.

2.2.4.1. COMPOSICIÓN DEL ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ

El aceite usado contiene compuestos que se generan al estar expuesto a altas temperaturas combustión y presiones dentro del cárter durante el funcionamiento del motor. Además, incluye metales como cobre, hierro, aluminio, cromo, plomo, manganeso, sílice, estaño y níquel, que parten del deterioro de las partes del motor. También, el aceite usado del cárter tiene pequeñas cantidades de gasolina, agua, anticongelante y químicos derivados de la combustión de la gasolina en el motor. ATSDR, (1997).

Las sustancias químicas presentes en el aceite usado varían según la marca y el tipo de aceite empleado, el uso de gasolina o diésel, el estado del motor de donde proviene el aceite, las fuentes de donde se obtiene (como automóviles, aviones, trenes, barcos, tractores o cortadoras de césped) y la distancia recorrida por el vehículo antes del cambio de aceite. Aunque el aceite usado no se encuentra de forma natural en el ambiente, la mayoría de los compuestos químicos que lo forman sí se producen de manera natural. ATSDR, (1997)

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Aceite diésel**

“Combustible el cual es de un destilado medio que se obtiene de la destilación primaria del petróleo crudo. Tal producto especialmente se usa como combustible para diversos motores diésel, desde equipos pesados diseñados bajo especificaciones de tipo del motor” (Mejía, 2019, p. 31).

- **Adsorción**

“Es un proceso en el que las moléculas de un fluido se adhieren a la superficie de un sólido y permanecen ahí por un periodo de tiempo. La adsorción puede tener una naturaleza química, como en el caso de los enlaces iónicos o de hidrógeno, o ser de carácter puramente físico, como ocurre con las fuerzas de (van der Waals)” (Navarro & Navarro, 2013, p. 40).

- **Contaminación**

“Cambio en las propiedades químicas, físicas o biológicas de las condiciones ambientales en tal grado que signifiquen un riesgo negativo para la vida de las personas o del mismo ambiente” (Sabroso y Pastor, 2014, p. 12).

- **Contaminación del suelo**

“Hace referencia identificación de un producto toxico o sustancia fuera de lugar y/o encontrado a una cantidad mayor que sobrepase de lo normal y que presente efectos adversos en el suelo al que normalmente no debería estar destinado (este volumen)” (Rodríguez et al., 2019, p. 8).

- **Horizonación**

“Entendido como la formación y diferenciación progresiva de los horizontes del suelo (volúmenes más o menos paralelos a la superficie del terreno, horizontales), lo que suceden verticalmente, tienen continuidad lateral y son específicos para cada proceso edafogénico concreto” (Porta et al., 2014, p. 41).

2.4. HIPÓTESIS

H1: La aplicación de biol de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) tiene efecto favorable en el suelo degradado por derrame de aceites de automotores, Huánuco.

H0: La aplicación de biol de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) no tiene efecto favorable en el suelo degradado por derrame de aceites de automotores, Huánuco.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Biol de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*)

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Suelo degradado por derrame de aceites de automotor.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TÍTULO: “Efecto de la aplicación de biol de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) en suelo degradado por derrame de aceites de automotores, Huánuco 2024”

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
VD: Biol de estiércol de cuy	Es un fertilizante líquido orgánico obtenido a través de la fermentación anaeróbica del estiércol de cuyes, lo cual por su composición aumenta el contenido de nutrientes y mejora la estructura del suelo, facilitando la absorción de nutrientes por las plantas(García, 2008) .	Se aprovechó la cantidad de nutrientes del biol de excretas de cuy para poder estimular el suelo degradado, con ello promover su recuperación.	Dosis de biol	50 %	Litros
				75 %	
VI: Suelo degradado por derrame de aceites de automotor.	Un suelo cuya habilidad para producir y realizar funciones ecológicas ha disminuido a causa de actividades humanas y fenómenos naturales. Lo cual impacta de forma negativa la estructura, la composición y la fertilidad del suelo, así como su capacidad para mantener la vida de plantas y animales (Aguirre et al., 2022).	Se evaluó el suelo degradado por derrame de aceites considerando un pre test y post test, en la que se midieron las principales características y los cambios que suceden al aplicar el biol.	Características físicas	Tipo textural Limo (%) Arcilla (%) Arena (%)	Análisis de laboratorio (espectrofotómetro)
			Características químicas	pH (1:1) CE (dS/m) MO (%) CIC	
			Micronutrientes	Calcio (Cmol (+) /kg) Magnesio (Cmol (+) /kg) Potasio (Cmol (+) /kg) Sodio (Cmol (+) /kg)	

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo puesto que se pretende responder las preguntas planteadas en la investigación, además de contrastar la hipótesis para aprobarla o desaprobarla (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

La investigación tuvo un alcance o nivel explicativo debido a la razón de explicar la ocurrencia de los fenómenos abarcando más allá de la descripción de fenómenos, conceptos o relaciones entre estas (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

3.1.3. DISEÑO

En la investigación se tuvo un diseño experimental dado que se manipularon las variables, y se tuvo 2 grupos experimental y un grupo control, realizando 5 repeticiones o unidades experimentales. Se muestra a continuación:

Tabla 2

Diseño factorial

Grupo	Pre prueba	% Dosificación biol	Post prueba
Grupo control		---	O2
Grupo experimental 1	O1	50% (X1)	O3
Grupo experimental 2		75% (X2)	O4

Nota. Las tres mediciones siguieron una misma línea de tiempo y las mismas condiciones.

Donde:

GE1 = grupo experimental uno (1).

GE2 = grupo experimental dos (2).

GC= grupo de control.

X = variable experimental (biol de estiércol de cuy).

O1; O2; O3 y O4 = observación y medición de preprueba y posprueba.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población para la presente investigación estuvo conformada por el suelo recolectado de los talleres mecánicos de vehículos motorizados en Huánuco. los cuales pasaron por una preselección en las verificando escenarios de contaminación del suelo, los cuales se verán evidenciados en la alteración de sus propiedades fisicoquímicos.

3.2.2. MUESTRA

La muestra fue no probabilística y estuvo conformada por 150 kilos de suelo, de 5 puntos de muestreo de los talleres mecánicos con un total de 20 muestras. Se realizó un análisis y observación inicial y en la que se diagnosticó las características fisicoquímicas. Posteriormente se realizó el experimento con 1 grupo control sin estímulo y 2 grupos experimentales, tales recibieron dosis de biol de estiércol de cuy al 50% y 75% respectivamente, por un periodo de 2 meses. Para volver a diagnosticar sus características y efectos en un análisis y observación final.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

a. Técnica

La técnica para recolectar datos estuvo basada en lo que establece Guía para el Muestreo de Suelos / Ministerio del Ambiente. Dirección General de Calidad Ambiental (2014) considerando:

- Tipo de muestreo
- Profundidad del muestreo
- Tipo de textura del suelo

b. Materiales para el biol

- Melaza
- Suero de leche
- Hierbas amargas

- Heces de cuy
- Levadura
- Chicha de jora
- Agua
- Ceniza
- Mangueras

c. Preparación del biol de estiércol de cuy

- **Recolección del Estiércol:** se recogió el estiércol fresco de cuy, asegurando de que no contenga residuos de alimentos u otros materiales no deseados.
- **Preparación del Recipiente:** Se usó un tanque que tenga una tapa hermética para evitar la entrada de oxígeno. Esto fue importante para mantener un ambiente anaerobio. Se colocó una manguera en la tapa del recipiente, permitiendo que los gases generados durante la fermentación puedan escapar sin permitir la entrada de aire. La válvula de escape debe estar en un frasco con agua para evitar el retroceso de aire.
- **Mezcla de Ingredientes:** En el recipiente, se agregó una parte de estiércol de cuy por cada tres partes de agua no clorada. También una cantidad de melaza para acelerar el proceso de fermentación. La proporción fue de 1 litro de melaza por cada 100 litros de mezcla. Y finalmente se agregó una pequeña cantidad de levadura para mejorar la fermentación.
- **Fermentación:** Se cerró el recipiente herméticamente y agitó bien la mezcla. Se colocó el recipiente en un lugar sombreado y a temperatura ambiente. Durante el proceso de fermentación, se agitó la mezcla diariamente para asegurar una fermentación uniforme. El tiempo de fermentación fue de 32 días. El biol está listo cuando deje de producir gases y tenga un olor agradable y no fétido.

- **Filtrado y Almacenamiento:** Una vez completada la fermentación, se filtró el biol usando un trapo para eliminar sólidos. Guardándolo en recipientes herméticos y almacenarlo en un lugar fresco y oscuro para mantener su efectividad.

d. Materiales para el experimento

- Cajón De Frutas
- Suelo degradado con aceites
- Costales
- Mochila Fumigadora
- Carteles

e. Procedimiento

Se realizó en 2 grupos experimentales con 5 unidades experimentales cada uno a igual que el grupo control.

- Grupo control; en este grupo se trabajó sin aplicación de biol. Con 5 unidades de 10 kilogramos cada uno.
- Grupo experimental uno: se trabajó con biol al 50% de biol es decir se tomó 5 litros de biol y 5 litros de agua no clorada, para 50 kilogramos de suelo degradado, se dosificó y se distribuyó en 5 unidades experimentales de 10 kilogramos cada uno.
- Grupo experimental dos: se trabajó con biol al 75% de biol es decir se tomó 7.5 litros de biol y 2.5 litros de agua no clorada, para 50 kilogramos de suelo degradado, se dosificó y se distribuyó en 5 unidades experimentales de 10 kilogramos cada uno.
- Se realizó una observación por 60 días, verificando y llevando el control de las unidades experimentales, finalmente se realizó el análisis de laboratorio para conocer los cambios en las características del suelo.

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

La combinación de tablas descriptivas y gráficos estadísticos proporcionará una presentación de datos completa y comprensible. Esto facilitará la comparación de datos entre diferentes grupos y apoyará la formulación de conclusiones basadas en evidencia. La clara visualización de los datos permitirá a los lectores y responsables de la toma de decisiones entender rápidamente las implicancias de los resultados y actuar en consecuencia.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Primeramente, se ordenó la data en un software de celdas interactivas, posterior a ello se realizó un análisis de los datos mediante la estadística descriptiva, identificando valores extremos, atípicos y faltantes. Seguidamente se realizó una prueba de normalidad del conjunto de datos, seguido de ello se procedió a realizar una prueba de T de Wilcoxon para validar la hipótesis.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Tabla 3

Análisis pre experimento del suelo degradado

Parámetros fisicoquímicos (pre experimento)													Micronutrientes			
	Arena	Arcilla	Limo			CE	M.O.									
N	(%)	(%)	(%)	Textura	pH	(dS/m)	(%)	N (%)	C	P	K	CIC	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio
1	76.49	10.84	12.7	Arena Franca	7.77	8.2	0.19	0.0097	0.1121	144.469	177.8769	7.391	5.92	0.689	0.564	0.218
2	80.46	10.84	8.7	Arena Franca	8.34	3.76	1.21	0.0604	0.7007	85.991	178.2565	6.835	5.48	0.666	0.498	0.192
3	78.46	10.84	10.7	Arena Franca	8.24	3.67	1.26	0.0628	0.7288	76.743	181.185	6.947	5.59	0.674	0.493	0.19

Nota. De la tabla se tienen 3 análisis iniciales (pre experimento) para conocer las características fisicoquímicas iniciales de suelo degradado por aceites de automotores, en la que se puede apreciar un tipo textural de arena franca para todas las muestras analizadas, además resalta un pH ligeramente alcalino que va desde 7.77 hasta 8.34. La conductividad Eléctrica (CE) con 8.2 y 3.76 dS/m. La materia orgánica (M.O.) desde 0.19% hasta 1.26%, lo cual se ve reflejado en los nutrientes que son N; C; P y K. Se presenta también la capacidad de intercambio catiónico (CIC) con valores desde 6.835 hasta 7.391. Se evaluó también los micronutrientes, calcio, magnesio, potasio y sodio, estas características indican que el suelo tiene condiciones de degradación dado que sus características se encuentran alteradas y no son viables para albergar el desarrollo de las plantas y de organismos propios del suelo.

Tabla 4*Análisis post experimento del suelo degradado grupo control*

Parámetros fisicoquímicos grupo control													Micronutrientes			
	Arena	Arcilla	Limo			CE	M.O.									
N	(%)	(%)	(%)	Textura	pH	(dS/m)	(%)	N (%)	C	P	K	CIC	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio
1	72.46	10.84	16.7	Arena Franca	7.96	7.25	1.92	0.096	1.116	96.857	165.103	6.999	5.22	0.928	0.48	0.371
2	72.46	11.04	16.5	Arena Franca	8.04	7.66	1.91	0.095	1.105	96.454	181.492	6.951	5.12	0.957	0.506	0.368
3	74.46	10.44	15.1	Arena Franca	8.25	5.35	1.93	0.096	1.117	88.594	147.321	7.068	5.34	0.868	0.489	0.37
4	72.46	11.24	16.3	Arena Franca	8.10	7.43	1.87	0.094	1.087	96.219	148.466	7.293	5.476	0.982	0.464	0.371
5	71.46	11.44	17.1	Arena Franca	8.06	7.43	1.82	0.091	1.057	96.238	132.769	6.957	5.217	0.88	0.473	0.388

Nota. Para el grupo control se tuvo 5 repeticiones en las mismas condiciones que los grupos experimentales, sin embargo, no se tuvo la dosificación con el biol de estiércol de cuy. Por ello se tuvo para el tipo textural de todas las muestras fue arena franca, con pH para cada muestra es de ligeramente alcalino, la materia orgánica para cada muestra con porcentaje bajo, esto se refleja en el carbono, fósforo, potasios. La conductividad Eléctrica (CE) con 5.35 y 7.43 dS/m. La materia orgánica (M.O.) desde 1.82% hasta 1.93%, lo cual se ve reflejado en los nutrientes que son N; C; P y K. Se presenta también la capacidad de intercambio catiónico (CIC) con valores desde 6.951 hasta 7.293. Se evaluó también los micronutrientes, calcio, magnesio, potasio y sodio, estas características indican que el suelo tiene condiciones de degradación dado que sus características se encuentran alteradas y no son viables para albergar el desarrollo de las plantas y de organismos propios del suelo.

Tabla 5

Análisis post experimento, grupo experimental 1

N	Parámetros fisicoquímicos (50% de biol)										Micronutrientes					
	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Textura	pH	CE (dS/m)	M.O. (%)	N (%)	C	P	K	CIC	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio
1	74.46	12.84	12.7	Arena Franca	9.02	5.27	2.34	0.117	1.359	121.554	255.487	12.344	9.57	1.458	0.753	0.563
2	73.66	14.84	11.5	Arena Franca	8.96	6.62	2.4	0.12	1.389	121.648	240.67	12	9.425	1.263	0.74	0.572
3	74.06	11.84	14.1	Arena Franca	8.92	6.4	2.24	0.112	1.299	126.343	251.269	12.364	9.539	1.497	0.75	0.579
4	74.26	12.44	13.3	Arena Franca	9	6.71	2.13	0.107	1.238	127.846	246.449	12.056	9.474	1.252	0.732	0.598
5	74.16	12.24	13.6	Arena Franca	8.74	6.52	2.08	0.104	1.208	121.46	247.051	11.92	9.307	1.298	0.733	0.582

Nota. Para el grupo control se tuvo 5 repeticiones en las mismas condiciones de tiempo, sin embargo, se tuvo la dosificación con el biol de estiércol de cuy al 50%. Por ello se tuvo para el tipo textural de todas las muestras fue arena franca, con pH para cada muestra es de ligeramente alcalino, la materia orgánica para cada muestra con porcentaje bajo, esto se refleja en el carbono, fósforo, potasios. La conductividad Eléctrica (CE) con 5.27 y 6.71 dS/m. La materia orgánica (M.O.) desde 2.08% hasta 2.34%, lo cual se ve reflejado en los nutrientes que son N; C; P y K. Se presenta también la capacidad de intercambio catiónico (CIC) con valores desde 11.92 hasta 12.364. Se evaluó también los micronutrientes, calcio, magnesio, potasio y sodio, estas características indican que el suelo tiene condiciones de degradación dado que sus características se encuentran alteradas y no son viables para albergar el desarrollo de las plantas y de organismos propios del suelo.

Tabla 6

Análisis post experimento, grupo experimental 2

N	Parámetros fisicoquímicos (75% de biol)										Micronutrientes					
	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Textura	pH	CE (dS/m)	M.O . (%)	N (%)	C	P	K	CIC	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio
1	70.46	10.84	18.7	Arena Franca	9	5.59	4.58	0.229	2.658	159.492	310.321	20.33	16.568	2.075	0.964	0.724
2	70.46	11.84	17.7	Arena Franca	8.95	7.82	3.28	0.164	1.903	161.933	305.5	20.578	16.872	2.138	0.859	0.708
3	70.26	11.44	18.3	Arena Franca	8.93	6.03	3.8	0.19	2.205	159.304	308.513	21.19	17.397	2.13	0.962	0.701
4	70.16	11.04	18.8	Arena Franca	9.14	5.64	3.07	0.154	1.782	153.576	313.936	21.383	17.622	2.163	0.891	0.707
5	70.14	11	18.86	Arena Franca	8.9	5.75	3.05	0.152	1.767	161.558	320.564	20.812	17.04	2.123	0.934	0.715

Nota. Para el grupo control se tuvo 5 repeticiones en las mismas condiciones de tiempo, sin embargo, se tuvo la dosificación con el biol de estiércol de cuy al 75%. Por ello se tuvo para el tipo textural de todas las muestras fue arena franca, con pH para cada muestra es de ligeramente alcalino, la materia orgánica para cada muestra con porcentaje bajo, esto se refleja en el carbono, fósforo, potasios. La conductividad Eléctrica (CE) con 5.59 y 7.82 dS/m. La materia orgánica (M.O.) desde 3.05% hasta 4.58%, lo cual se ve reflejado en los nutrientes que son N; C; P y K. Se presenta también la capacidad de intercambio catiónico (CIC) con valores desde 20.33 hasta 21.383. Se evaluó también los micronutrientes, calcio, magnesio, potasio y sodio, estas características indican que el suelo tiene condiciones de degradación dado que sus características se encuentran alteradas y no son viables para albergar el desarrollo de las plantas y de organismos propios del suelo.

Para el objetivo: Determinar las características físicas del suelo degradado pre y post aplicación del biol.

Tabla 7

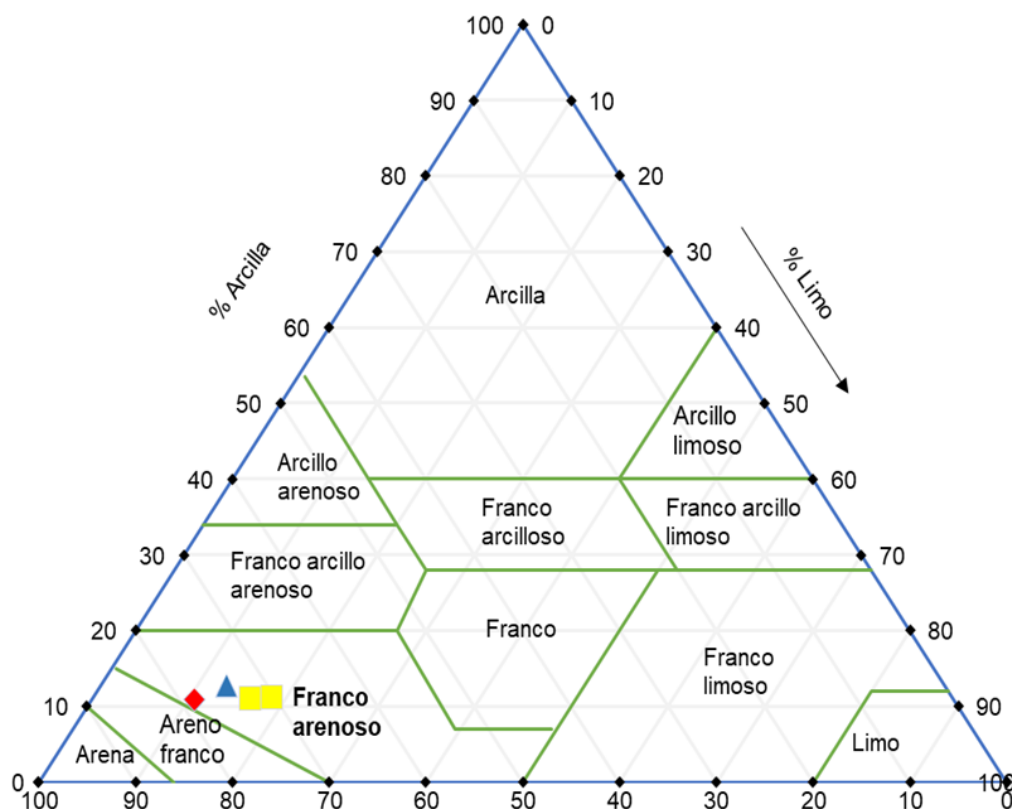
Tipo textural del suelo degradado (pre y post)

Categoría	Arena (%)	Media del tipo textural		Textura
		Arcilla (%)	Limo (%)	
Pre experimento	78.47	10.84	10.70	Arena Franca
Grupo control	72.66	11.00	16.34	Arena Franca
Grupo experimental 1	74.12	12.84	13.04	Arena Franca
Grupo experimental 2	70.30	11.23	18.47	Arena Franca

Nota. Los grupos experimentales fueron evaluados en las mismas condiciones y misma línea de tiempo.

Figura 1

Triángulo textural del suelo



Nota. De la figura se aprecia que las condiciones del tipo textural y la distribución de arena, limo y arcilla muestran que se trata de un suelo franco arenoso o arena franca, estas condiciones están sujetas a que el estímulo agregado (biol) no aporta textura al suelo, solo condiciones de nutrientes, es por ello que el tipo textural se mantiene en el pre y post experimento. Interpretación del texto de Huising et al. (2011).

Para el objetivo: Determinar las características químicas del suelo degradado pre y post aplicación del biol.

Tabla 8

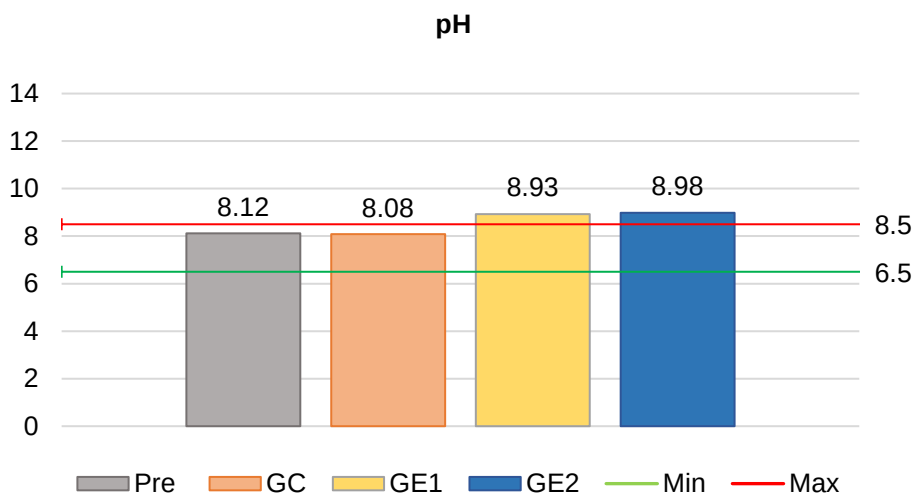
Procesamiento de los datos de las características químicas

Característica	Grupo	Media	Desviación estándar	Min.	Max.
pH	Pre	8.12	0.30	7.77	8.34
	GC	8.08	0.11	7.96	8.25
	GE1	8.93	0.11	8.74	9.02
	GE2	8.98	0.09	8.90	9.14
CE (dSm)	Pre	5.21	2.59	3.67	8.20
	GC	7.02	0.95	5.35	7.66
	GE1	6.30	0.59	5.27	6.71
	GE2	6.17	0.94	5.59	7.82
MO	Pre	0.89	0.60	0.19	1.26
	GC	1.89	0.05	1.82	1.93
	GE1	2.24	0.14	2.08	2.40
	GE2	3.56	0.65	3.05	4.58
N	Pre	0.04	0.03	0.01	0.06
	GC	0.09	0.00	0.09	0.10
	GE1	0.11	0.01	0.10	0.12
	GE2	0.18	0.03	0.15	0.23
C	Pre	0.51	0.35	0.11	0.73
	GC	1.10	0.03	1.06	1.12
	GE1	1.30	0.08	1.21	1.39
	GE2	2.06	0.38	1.77	2.66
P	Pre	102.40	36.72	76.74	144.47
	GC	94.87	3.52	88.59	96.86
	GE1	123.77	3.08	121.46	127.85
	GE2	159.17	3.34	153.58	161.93
K	Pre	179.11	1.81	177.88	181.19
	GC	155.03	18.71	132.77	181.49
	GE1	248.19	5.56	240.67	255.49
	GE2	311.77	5.79	305.50	320.56
CIC	Pre	7.06	0.29	6.84	7.39
	GC	7.05	0.14	6.95	7.29
	GE1	12.14	0.20	11.92	12.36
	GE2	20.86	0.43	20.33	21.38

Nota. De la tabla se muestra la media de los datos obtenidos considerando las características químicas del suelo degradado por derrames de aceites de automotores. Pre = análisis inicial; GC = grupo control; GE1 = grupo experimental con biol al 50% y GE2 = grupo experimental con biol al 75%. Se pudo apreciar que 7 de 8 características químicas evaluadas tienen mayor diferencia significativa en el GE2. A excepción de la conductividad eléctrica, en la que el grupo control (GC) tuvo 7.02 y el GE1 tuvo 6.30 y el GE2 tuvo 6.17. De estos datos se hace una comparación reflejada en las siguientes figuras.

Figura 2

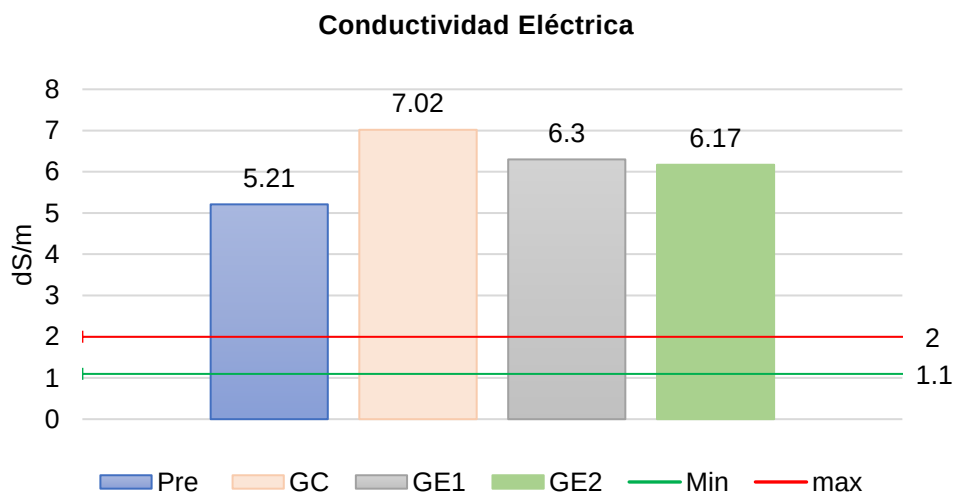
pH de suelo en el experimento



Nota. De la figura de barras se puede apreciar con una comparativa de la media del pH, desde el pre análisis con 8.12 (neutro); el grupo control 8.08 (neutro), el grupo experimental 1 (50%) con 8.93 (fuertemente alcalino) y el grupo experimental 2 con 8.98 (fuertemente alcalino). Sin embargo, lo ideal para los suelos (agrícolas) tienen rango de 6.5 hasta 8.5 (neutro).

Figura 3

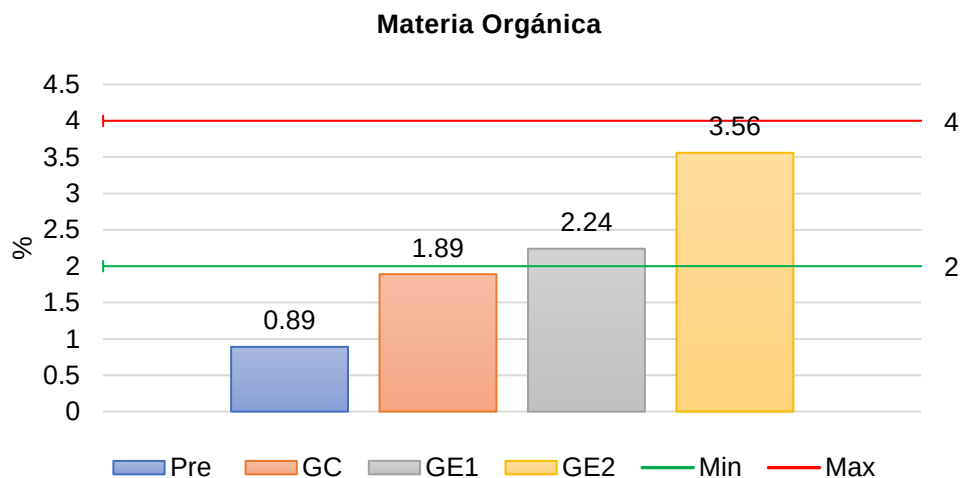
Conductividad eléctrica (CE) de suelo en el experimento



Nota. De la figura de barras se puede apreciar con una comparativa de la media para la CE, desde el pre análisis con 5.21 dS/m; el grupo control 7.02 dS/m el grupo experimental 1 (50%) con 6.3 dS/m (y el grupo experimental 2 (75%) con 6.17 dS/m. Sin embargo, lo ideal para los suelos (agrícolas) tienen rango de 1.1 dS/m hasta 2 dS/m. En la que todos los grupos presentarían salinidad.

Figura 4

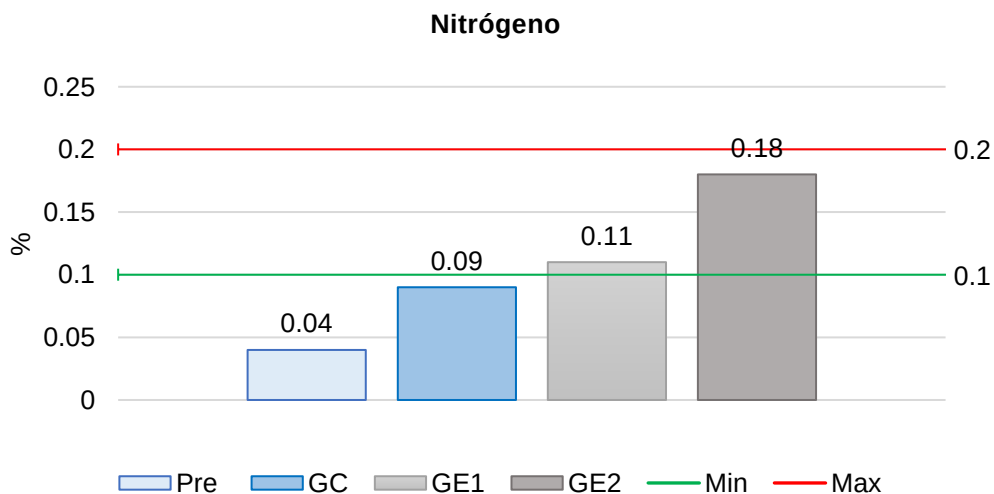
Materia orgánica (MO) del suelo en el experimento



Nota. De la figura de barras se puede apreciar con una comparativa de la media para la MO, desde el pre análisis con 0.89%; el grupo control 1.89% el grupo experimental 1 (50%) con 2.24% (y el grupo experimental 2 (75%) con 3.56. Lo que se establece como porcentaje medio para los suelos (agrícolas) tienen rango de 2% hasta 4%.

Figura 5

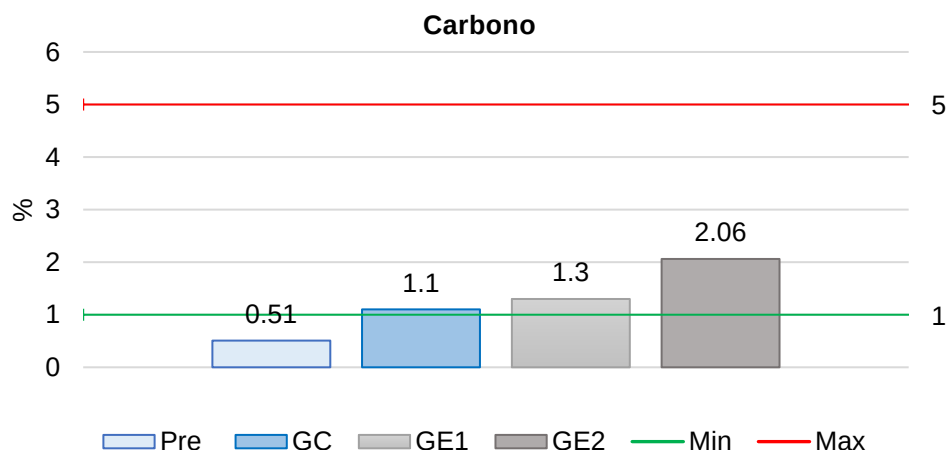
Nitrógeno (N) de suelo en el experimento



Nota. De la figura de barras se puede apreciar con una comparativa de la media para el N, desde el pre análisis con 0.04%; el grupo control 0.09% el grupo experimental 1 (50%) con 0.11% (y el grupo experimental 2 (75%) con 0.18%. Lo que se establece como porcentaje medio para los suelos (agrícolas) tienen rango de 0.1% hasta 0.2%. Por lo que los grupos con dosis de biol están estables en los rangos.

Figura 6

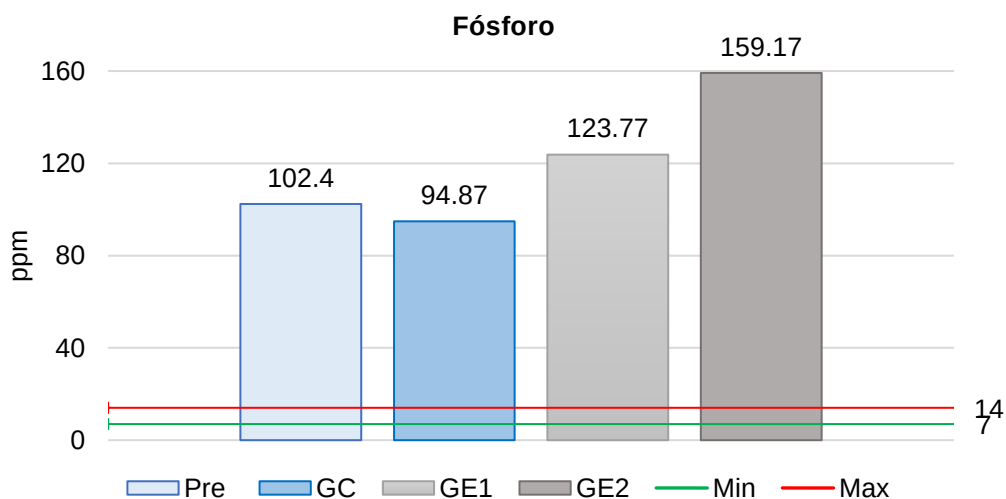
Carbono de suelo en el experimento



Nota. De la figura de barras se puede apreciar con una comparativa de la media para el C, desde el pre análisis con 0.51%; el grupo control 1.1% el grupo experimental 1 (50%) con 1.3% (y el grupo experimental 2 (75%) con 2.06%. Lo que se establece como porcentaje medio para los suelos (agrícolas) tienen rango de 1% hasta 5%. Por lo que los grupos con dosis de biol y el grupo control están estables en los rangos.

Figura 7

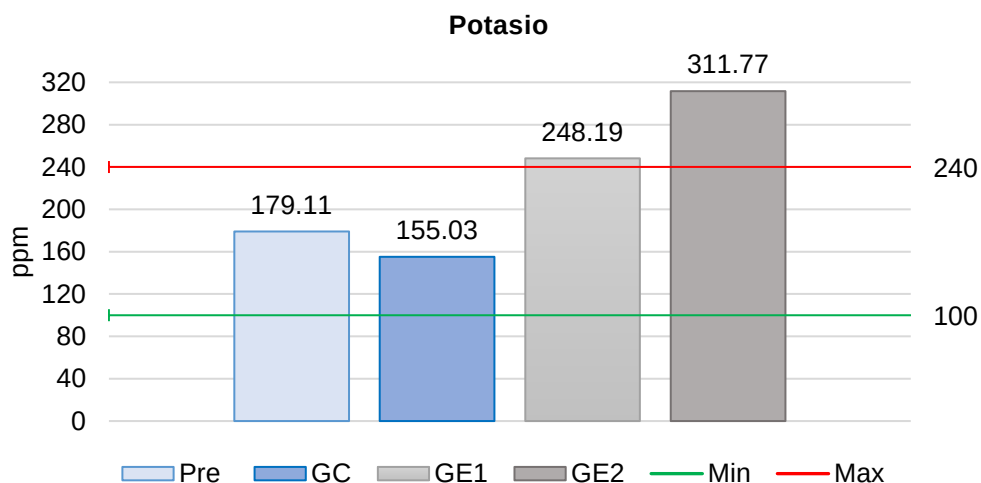
Fósforo (P) del suelo en el experimento



Nota. De la figura de barras se puede apreciar con una comparativa de la media para el P, desde el pre análisis con 102.4 ppm; el grupo control 94.87 ppm el grupo experimental 1 (50%) con 123.77 ppm (y el grupo experimental 2 (75%) con 159.17 ppm. Lo que se establece como porcentaje medio para los suelos (agrícolas) tienen rango de 7 ppm hasta 14 ppm. Por lo que desde le pre análisis superan los rangos.

Figura 8

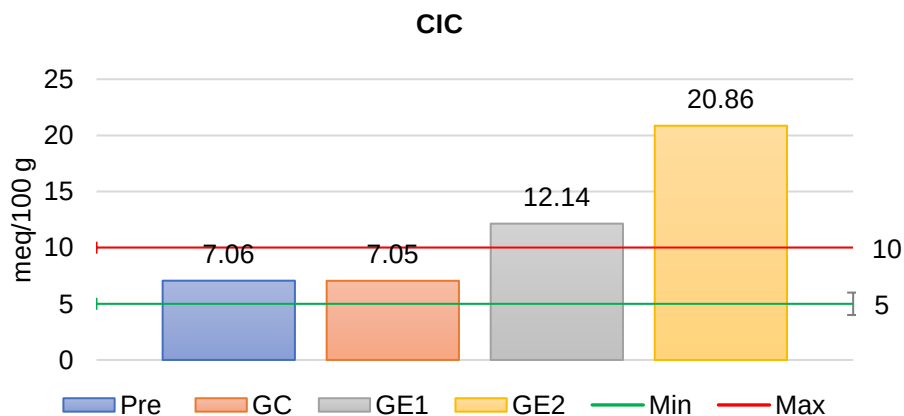
Potasio (K) del suelo en el experimento



Nota. De la figura de barras se puede apreciar con una comparativa de la media para el K, desde el pre análisis con 179.11 ppm; el grupo control 155 ppm el grupo experimental 1 (50%) con 248.19 ppm (y el grupo experimental 2 (75%) con 311.77 ppm. Lo que se establece como porcentaje medio para los suelos (agrícolas) tienen rango de 100 ppm hasta 240 ppm. Por lo los grupos experimentales con el biol superan los rangos.

Figura 9

Capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo



Nota. De la figura de barras se puede apreciar con una comparativa de la media para el CIC, desde el pre análisis con 7.06 meq/100 g; el grupo control 7.05 meq/100 g el grupo experimental 1 (50%) con 12.14 meq/100 g (y el grupo experimental 2 (75%) con 20.86 meq/100 g. Lo que se establece como porcentaje medio para los suelos (agrícolas) de tipo textural arena franca tienen rango de 5 meq/100 g hasta 10 meq/100 g. Por lo que los grupos experimentales con biol superan los rangos.

Para el objetivo: Determinar las características de los micronutrientes del suelo degradado pre y post aplicación del biol.

Tabla 9

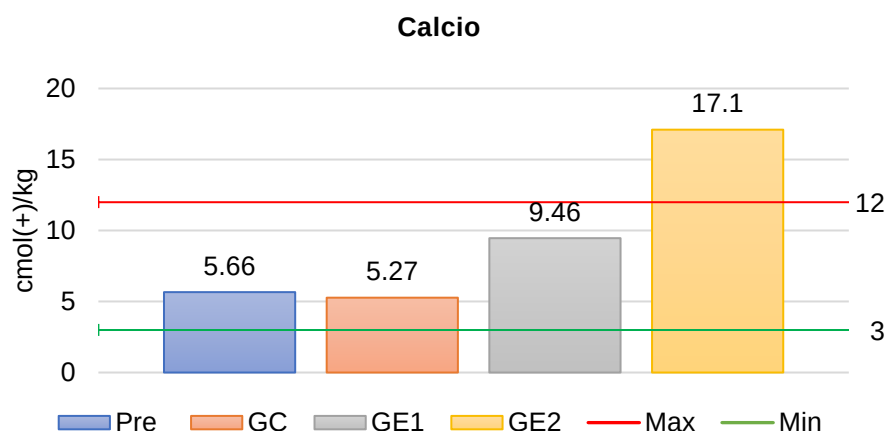
Procesamiento de los datos de los micronutrientes del suelo

Característica	Grupo	Media	Desviación estándar	Min.	Max.
Calcio	Pre	5.66	0.23	5.48	5.92
	GC	5.27	0.14	5.12	5.48
	GE1	9.46	0.10	9.31	9.57
	GE2	17.10	0.42	16.57	17.62
Magnesio	Pre	0.68	0.01	0.67	0.69
	GC	0.92	0.05	0.87	0.98
	GE1	1.35	0.12	1.25	1.50
	GE2	2.13	0.03	2.08	2.16
Potasio	Pre	0.52	0.04	0.49	0.56
	GC	0.48	0.02	0.46	0.51
	GE1	0.74	0.01	0.73	0.75
	GE2	0.92	0.05	0.86	0.96
Sodio	Pre	0.20	0.02	0.19	0.22
	GC	0.37	0.01	0.37	0.39
	GE1	0.58	0.01	0.56	0.60
	GE2	0.71	0.01	0.70	0.72

Nota. De la tabla se muestra la media de los datos obtenidos considerando los micronutrientes del suelo degradado por derrames de aceites de automotores. Pre = análisis inicial; GC = grupo control; GE1 = grupo experimental con biol de estiércol de cuy al 50% y GE2 = grupo experimental con biol de estiércol de cuy al 75%. Se pudo apreciar que en 4 de 4 micronutrientes evaluadas el GE2 tienen mayor diferencia significativa. De estos datos se hace una comparación reflejada en las siguientes figuras.

Figura 10

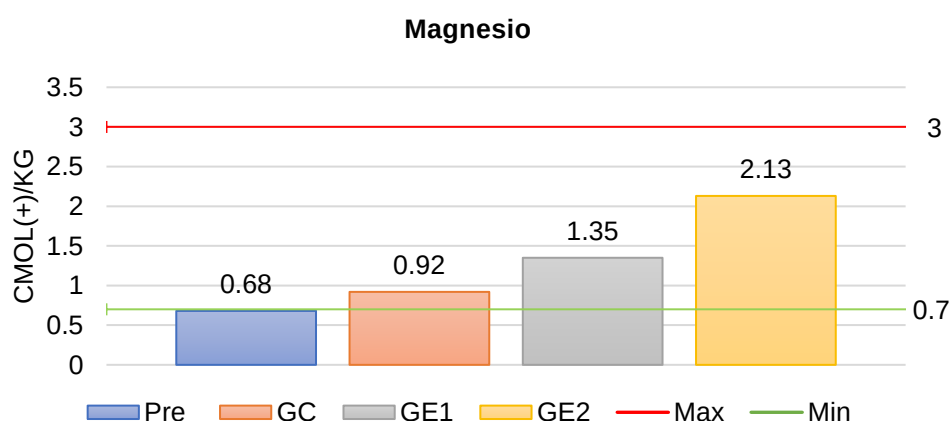
Calcio (Ca) del suelo en el experimento



Nota. De la figura de barras se puede apreciar con una comparativa de la media para el micronutriente Ca, desde el pre análisis con 5.66 cmol(+)/kg; el grupo control 2.27 cmol(+)/kg el grupo experimental 1 (50%) con 9.46 cmol(+)/kg (y el grupo experimental 2 (75%) con 17.1 cmol(+)/kg. Lo que se establece como porcentaje medio para los suelos (agrícolas) tienen rango de 3 cmol(+)/kg hasta 12 cmol(+)/kg. Por lo que el grupo experimental 1 está dentro del rango y el segundo grupo supera el rango.

Figura 11

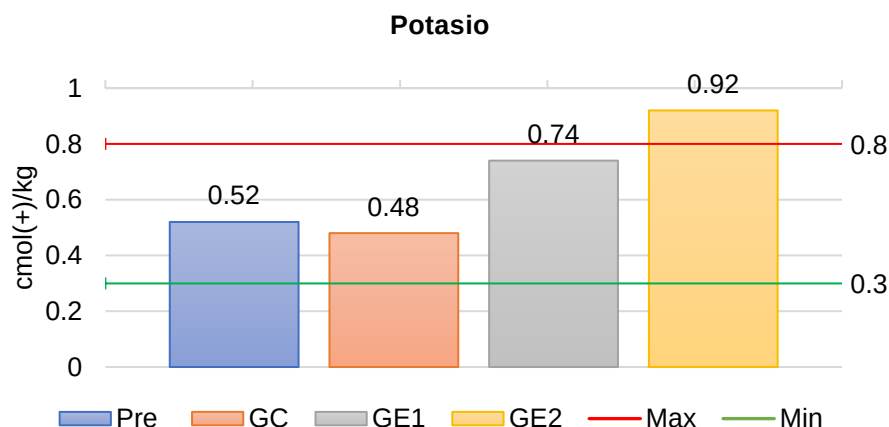
Magnesio (Mg) del suelo en el experimento



Nota. De la figura de barras se puede apreciar con una comparativa de la media para el micronutriente Mg, desde el pre análisis con 0.68 cmol(+)/kg; el grupo control 0.92 cmol(+)/kg el grupo experimental 1 (50%) con 1.35 cmol(+)/kg (y el grupo experimental 2 (75%) con 2.13 cmol(+)/kg. Lo que se establece como porcentaje medio para los suelos (agrícolas) tienen rango de 0.7 cmol(+)/kg hasta 3 cmol(+)/kg. Por lo que los grupos experimentales con biol están dentro de los rangos.

Figura 12

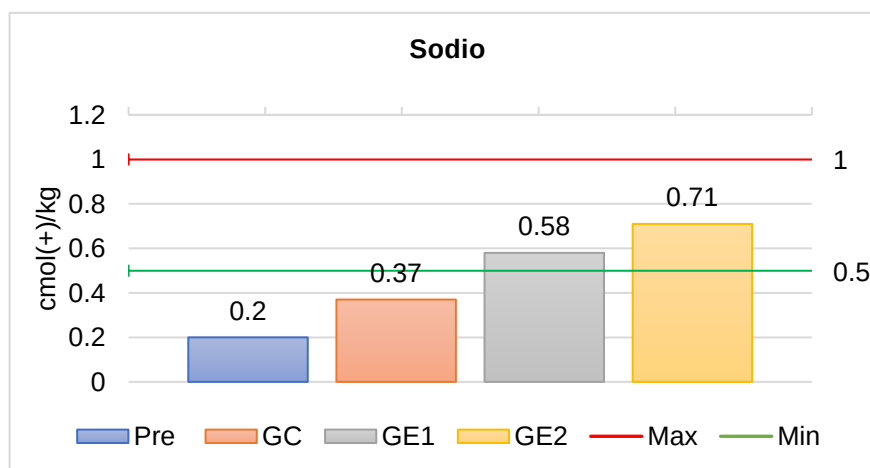
Potasio (K) cambiabile del suelo en el experimento



Nota. De la figura de barras se puede apreciar con una comparativa de la media para el micronutriente K cambiabile, desde el pre análisis con 0.52 cmol(+)/kg; el grupo control 0.48 cmol(+)/kg el grupo experimental 1 (50%) con 0.74 cmol(+)/kg (y el grupo experimental 2 (75%) con 0.92 cmol(+)/kg. Lo que se establece como porcentaje medio para los suelos (agrícolas) tienen rango de 0.3 cmol(+)/kg hasta 0.8 cmol(+)/kg. Por lo que el grupo experimental 1 está dentro del rango y el segundo grupo supera el rango.

Figura 13

Sodio (Na) del suelo en el experimento



Nota. De la figura de barras se puede apreciar con una comparativa de la media para el micronutriente Ca, desde el pre análisis con 0.2 cmol(+)/kg; el grupo control 0.37 cmol(+)/kg el grupo experimental 1 (50%) con 0.58 cmol(+)/kg (y el grupo experimental 2 (75%) con 0.71 cmol(+)/kg. Lo que se establece como porcentaje medio para los suelos (agrícolas) tienen rango de 0.5 cmol(+)/kg hasta 1 cmol(+)/kg. Por lo que en los grupos experimentales están dentro de los rangos.

4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Antes de realizar la prueba o contraste de la hipótesis, se trabajó en a prueba de normalidad de datos, para la elección del tipo de estadístico a elegir, para ello se muestra la siguiente tabla:

Tabla 10

Prueba de normalidad

Pruebas de normalidad				
Grupo	Grupo experimental	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
pH	50%	0.842	5	0.172
	75%	0.871	5	0.271
CE	50%	0.734	5	0.021
	75%	0.703	5	0.010
MO	50%	0.947	5	0.713
	75%	0.849	5	0.192
N	50%	0.956	5	0.783
	75%	0.855	5	0.210
C	50%	0.943	5	0.688
	75%	0.851	5	0.198
P	50%	0.768	5	0.043
	75%	0.831	5	0.142
K	50%	0.981	5	0.940
	75%	0.956	5	0.781
CIC	50%	0.857	5	0.218
	75%	0.964	5	0.836
Calcio	50%	0.949	5	0.731
	75%	0.979	5	0.927
Magnesio	50%	0.830	5	0.139
	75%	0.932	5	0.610
Potasio	50%	0.883	5	0.325
	75%	0.895	5	0.385
Sodio	50%	0.977	5	0.918
	75%	0.956	5	0.782

Nota. *. Esto es un límite inferior de la significación verdadera. a. Corrección de significación de Lilliefors. Para el test de normalidad se consideró lo siguiente: Siendo las hipótesis; H0: Las muestras tienen distribución normal y H1: Las muestras no tienen distribución normal. Observamos que los valores de P para los parámetros son mayores de 0.05 solo en los parámetros de CE y fosforo (P), los demás parámetros son menores al 0.05, por lo tanto, tomamos la decisión de rechazar H0, es decir se eligió una prueba no paramétrica para el contraste de la hipótesis en este caso prueba de T Wilcoxon para muestras relacionadas.

Para la investigación se planteó la siguiente hipótesis:

H1: La aplicación de biol de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) tiene efecto favorable en el suelo degradado por derrame de aceites de automotores, Huánuco.

H0: La aplicación de biol de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) no tiene efecto favorable en el suelo degradado por derrame de aceites de automotores, Huánuco.

Esta prueba tiene un nivel de significancia de 0.05 (p-valor) en la que se evalúa el pre y post de los datos experimentales.

Tabla 11

Prueba de T Wilcoxon para muestras relacionadas

Características (pre – post)		Z	Sig. asintótica(bilateral)
pH	50%	-2,023 ^b	0.043
	75%	-2,023 ^b	0.043
CE	50%	-2,023 ^b	0.043
	75%	-2,023 ^b	0.043
MO	50%	-2,023 ^b	0.043
	75%	-2,023 ^b	0.043
N	50%	-2,023 ^b	0.043
	75%	-2,023 ^b	0.043
C	50%	-2,023 ^b	0.043
	75%	-2,023 ^b	0.043
P	50%	-2,023 ^b	0.043
	75%	-2,023 ^b	0.043
K	50%	-2,023 ^b	0.043
	75%	-2,023 ^b	0.043
CIC	50%	-2,023 ^b	0.043
	75%	-2,023 ^b	0.043
Calcio	50%	-2,023 ^b	0.043
	75%	-2,023 ^b	0.043
Magnesio	50%	-2,023 ^b	0.043
	75%	-2,023 ^b	0.043
Potasio	50%	-2,023 ^b	0.043
	75%	-2,023 ^b	0.043
Sodio	50%	-2,023 ^b	0.043
	75%	-2,023 ^b	0.043

Nota. En la tabla al considerar **Sig. Asintótica (bilateral)** el cual es el p-valor (0.05), en todos los parámetros evaluados son menores a tal valor, es decir que los cambios producidos en el experimento (pre – post) tienen diferencias significativas estadísticamente, los cambios al aplicar el biol de estiércol de cuy son evidentes. Se basa en rangos positivos.

Al apreciar el comportamiento de los datos es pertinente concluir con la hipótesis alterna (HA) rechazando así la hipótesis nula (H0), dado que el efecto de la fitorremediación es evidente.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La aplicación de biol de estiércol de cuy en suelos degradados por derrame de aceites de automotores ha mostrado una mejora significativa en las condiciones del suelo, principalmente en sus características químicas y en los niveles de macronutrientes. Los resultados indican que la aplicación de biol al 75% es más efectiva en comparación con una aplicación al 50%. Esta diferencia se refleja en un aumento más notable de la materia orgánica, nitrógeno, carbono, fósforo y potasio en el suelo tratado con la mayor concentración de biol. Estos nutrientes son esenciales para la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas, lo que sugiere que la aplicación de biol de excretas de cuy puede ser una estrategia eficaz para la rehabilitación de suelos contaminados. Aunque en ambas dosis se mantiene la estructura física del suelo.

Estos hallazgos proporcionan una base sólida para recomendar el uso de biol de estiércol de cuy como una enmienda viable para la rehabilitación de suelos contaminados, contribuyendo así a la sostenibilidad y productividad agrícola, dado que son estrategias que funcionan tal como menciona Goya (2020) en su investigación en la que pudo demostrar que los procesos de biorremediación de los aceites (hidrocarburos) demuestran ser efectivos y sostenibles. A lo que agrega Noreña (2018) que el biol obtenido presenta concentraciones óptimas de N₂, P₂O₅ y K; y podría ser utilizado como un componente foliar en la agricultura.

En cuanto a las características físicas del suelo, el estudio muestra que la textura del suelo se mantiene constante antes y después de la aplicación del biol. Las condiciones texturales iniciales del suelo, clasificadas como franco arenoso o arena franca, no se ven alteradas por la adición del biol de estiércol de cuy. Esto es esperado, dado que el biol es una fuente líquida de nutrientes y no contribuye significativamente a cambiar la estructura física del suelo, como lo haría una enmienda orgánica sólida.

La estabilidad de la textura del suelo es una observación relevante, ya que indica que mientras el biol mejora las propiedades químicas del suelo, no modifica su estructura física básica. La distribución de arena, limo y arcilla se mantiene, lo cual es beneficioso porque mantiene las características de drenaje y aireación propias de un suelo franco arenoso. A esto hace mención Padilla (2020) dado que el suelo que evaluó se mantuvo en la misma textura y que estas características son generalmente favorables para el crecimiento de las plantas, permitiendo un buen balance entre retención de agua y aireación de las raíces.

El incremento en los niveles de nitrógeno es particularmente importante, ya que este elemento es fundamental para la síntesis de proteínas y el desarrollo vegetativo de las plantas. De igual manera, el carbono añadido al suelo contribuye a mejorar la estructura del suelo y la retención de humedad, mientras que el fósforo y el potasio son cruciales para el metabolismo energético y la resistencia a enfermedades. La observación de que el pH del suelo tiende a la alcalinidad tras la aplicación del biol puede ser favorable en ciertos contextos, ya que muchos contaminantes de suelos degradados son más móviles y disponibles en condiciones ácidas, y una ligera alcalinidad podría ayudar a inmovilizar estos contaminantes. Durand (2018) trabajó con contenidos de 50% de heces vacuno y 50% de heces de cuy, cuyo parámetro físico químico arrojaron 7.25 de pH, 18.90 dS/cm de conductividad eléctrica, 30.42 g/L, 36.32 g/L de materia orgánica, 5521.22 mg/L de N, 3280.14 mg/L de P, 6734.21 mg/L de K. Además, que Noreña (2018) menciona que en cuanto a los parámetros químicos no se obtuvo diferencia estadística significativa entre; P₂O₅, K, Cu, Fe, Zn y Mn; pero sí en los parámetros de Ca, Na y Mg. Lo que en el presente estudio si se tuvo las diferencias significativas favorables para el suelo.

Los micronutrientes, aunque presentes en menor cantidad, son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los resultados muestran que, aunque los micronutrientes están presentes en concentraciones bajas tanto en los suelos tratados como en el grupo control, hay un incremento notable en los suelos tratados con biol de estiércol de cuy.

Este incremento, aunque modesto, es significativo, ya que incluso pequeñas cantidades de micronutrientes pueden tener un gran impacto en la salud y productividad de las plantas.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo es otra característica que se ha visto favorecida con la aplicación de biol. La CIC es una medida de la capacidad del suelo para retener cationes (nutrientes) y es un indicador importante de la fertilidad del suelo. Un aumento en la CIC implica que el suelo tiene una mayor capacidad para retener y suministrar nutrientes a las plantas, lo que es esencial para el crecimiento sostenido y la productividad agrícola.

La comparación entre las dosis de biol aplicadas al 75% y al 50% muestra claramente que una mayor concentración de biol tiene un efecto más pronunciado en la mejora de las propiedades químicas del suelo. Sin embargo, es importante considerar la eficiencia y el costo-beneficio de la aplicación de biol a diferentes concentraciones. Mientras que una dosis más alta puede proporcionar mayores beneficios en términos de nutrientes, también puede ser más costosa y menos viable en una escala más grande.

Los resultados de este estudio tienen importantes implicaciones para la gestión y rehabilitación de suelos degradados por contaminantes como los aceites de automotores. La aplicación de biol de estiércol de cuy se presenta como una solución viable y efectiva para mejorar la fertilidad del suelo y restaurar su capacidad productiva. La mejora en las propiedades químicas y el incremento de nutrientes esenciales hacen que este tratamiento sea una opción prometedora para la rehabilitación de suelos agrícolas y áreas verdes afectadas por la contaminación.

CONCLUSIONES

La aplicación de biol de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) en suelo degradado por derrame de aceites de automotores, las condiciones del suelo mejorar y la hacen favorable, esto se ve reflejada principalmente en las características químicas y macronutrientes con la aplicación del biol al 75% y con menor favor al 50%.

Las características físicas en las condiciones textural y la distribución de arena, limo y arcilla muestran que se trata de un suelo franco arenoso o arena franca, estas condiciones están sujetas a que el estímulo agregado (biol de estiércol de cuy) no aporta textura al suelo, dado que es una fuente líquida de nutrientes, es por ello que el tipo textural se mantiene en el pre y post experimento.

Las características químicas del suelo se ven favorecidas con la aplicación del biol de estiércol de cuy en el incremento de la materia orgánica reflejado en el nitrógeno, carbono, fósforo y potasio, aunque el pH tiende a la alcalinidad, la capacidad de intercambio catiónico es elevada.

Las características de los micronutrientes son de baja concentración en cmol/kg del mismo modo en el grupo control, sin embargo, en los grupos experimentales con dosis de biol de estiércol de cuy, estos incrementan y favorecen al suelo degradado.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios adicionales en distintos tipos de suelos y condiciones climáticas para evaluar la efectividad del biol de estiércol de cuy en una variedad de escenarios, lo cual permitirá generalizar los resultados y adaptar las prácticas de remediación a contextos específicos.

Realizar estudios a largo plazo para evaluar los efectos sostenibles del biol de estiércol de cuy en suelos degradados por derrames de aceites de automotores.

Monitoreando cambios en las propiedades del suelo, la actividad biológica y la recuperación de la vegetación durante varios años.

Fomentar la colaboración entre diferentes disciplinas como la agronomía, la biología, la química y la ingeniería ambiental para abordar la remediación de suelos de manera integral, dado que estos conocimientos y técnicas de diversas áreas puede llevar a soluciones más innovadoras y efectivas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (1997).
Reseña Toxicológica del Aceite Usado del Cáster.
https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs102.html
- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., & Mercado, T. (2022). Suelo y cambio climático: Incluye estudio de casos (Primera edición). Editorial Unimagdalena.
- Bonadeo, E., Moreno, I., Bongiovanni, M., Marzari, R., & Ganum, M. J. (2017).
Sistema Suelo-Planta (1a ed.). UniRío.
<https://www.unirioeditora.com.ar/wp-content/uploads/2018/08/978-987-688-204-0.pdf>
- Comisión Europea. (2013). Cambio climático y degradación de los suelos en América Latina: Escenarios, políticas y respuestas. TYPESA.
<https://euroclimaplus.org/en/component/edocman/cambio-climatico-y-degradacion-de-los-suelos-en-america-latina-escenarios-politicas-y-respuestas>
- Coronado, A. E. (2018). Eficiencia de las micorrizas y del biol en el rendimiento del *Phaseolus vulgaris*, en suelos de Laredo [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25056>
- Durand, P. J. P. (2018). Producción de biol utilizando mezcla de heces vacunos y cuy, para mejorar la producción de alfalfa (*Medicago sativa*) Pariacoto, 2018 [Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/28019>
- Encinas, M. D. (2011). Medio Ambiente y Contaminación Principios Básicos (Primera).
<https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio%20Ambiente%20y%20Contaminaci%C3%B3n.%20Principios%20b%C3%A1sicos.pdf?sequence=6>

- García, C. (2008). Enmiendas orgánicas para suelos basadas en residuos orgánicos.
- Goya, N. I. (2020). Análisis de las estrategias para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos totales de petróleo (TPH) [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/51387>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). Metodología de la Investigación, las rutas cuantitativas, cualitativas y mixta. Mc Graw Hill Education.
- Huising, E. J., Bignell, D., & Moreira, F. M. S. (2011). Manual de biología de suelos tropicales. (Primera Edición). <http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/217>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales, 2020 (p. 626). Instituto Nacional de Estadística e Informática. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1760/libro.pdf
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia.
- Jiménez, R. (2017). Introducción a la contaminación de suelos. Mundi-Prensa Libros.
- Mejía, R. F. (2019). Hidrocarburos: Manejo seguro (4a ed.). Ecoe Ediciones.
- Mondaco, M., Morales, I., & Miranda, R. (2019). Aplicación de biofertilizante con bacterias halófilas y yeso sobre características químicas— Biológicas de un suelo salino-sódico | Apthapi [Universidad Mayor de San Andrés.]. <http://apthapi.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/21>

- Navarro, G., & Navarro, S. (2013). Química agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas (Tercera Edición). Mundi-Prensa Libros.
- Noreña, J. M. (2018). Evaluación del estiércol de cuy de la granja montero y aguas residuales del camal municipal de Huánuco para la producción de biol mediante biodigestores del tipo semicontinuo—2017 [Universidad de Huánuco]. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/1282>
- Osorio, M. Á., Haro, J. P., Carrillo, W. E., & Negrete, J. H. (2022). Suelos: Caracterización e importancia (1a ed.). Puerto Madero. <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-01-18-140934-L2022-031.pdf>
- Padilla, N. E. (2020). Efecto de dos tipos de biol y tres momentos de aplicación sobre la producción de legumbres del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo bayo. Valle del Medio Piura. 2019 [Universidad Nacional de Piura]. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2439>
- Porta, J., López, M., & Poch, R. (2014). Edafología: Uso y Protección de Suelos (Tercera Edición). Mundi-Prensa Libros.
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). La Contaminación del Suelo una Realidad Oculta (p. 144). <http://www.fao.org/3/I9183ES/I9183es.pdf>
- Sabroso, M. del C., & Pastor, A. (2014). Guía sobre suelos contaminados. 109.
- Santoyo, G., Higareda, A., Marquez, L., de la Cruz, J. L., & Sánchez, J. M. (2019). Biorremediación y fitorremediación de suelo impactado por 85,000 ppm de aceite residual automotriz. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 15(1), 17–23.
- Warnars, L., & Oppenoorth, H. (2014). Estudio sobre el biol, sus usos y resultados. Hivos People Unlimited.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Ponce Gargate, C. (2024). *Efecto de la aplicación de biol de estiércol de cuy (cavia porcellus) en suelo degradado por derrame de aceites de automotores, Huánuco 2024*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

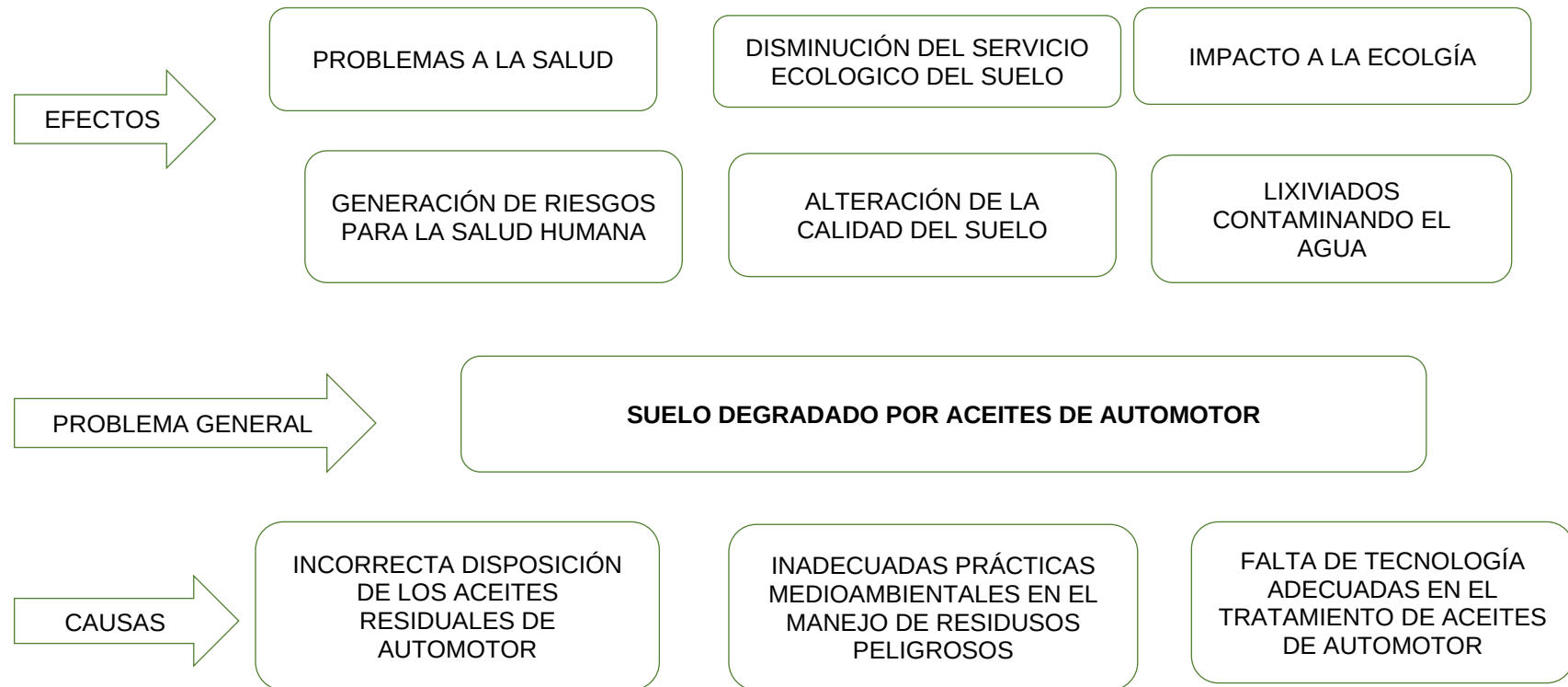
MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “Efecto de la aplicación de biol de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) en suelo degradado por derrame de aceites de automotores, Huánuco 2024”

Problema general	Objetivo general	Hipótesis	Variables y dimensiones	Metodología
¿Cuál es el efecto de la aplicación de biol de estiércol de cuy (<i>Cavia porcellus</i>) en suelo degradado por aceites de automotores, Huánuco?	Determinar el efecto de la aplicación de biol de estiércol de cuy (<i>Cavia porcellus</i>) en suelo degradado por derrame de aceites de automotores, Huánuco.	H1: La aplicación de biol de estiércol de cuy (<i>Cavia porcellus</i>) tiene efecto favorable en el suelo degradado por derrame de aceites de automotores, Huánuco. H0: La aplicación de biol de estiércol de cuy (<i>Cavia porcellus</i>) no tiene efecto favorable en el suelo degradado por derrame de aceites de automotores, Huánuco.	Variable independiente: Biol de estiércol de cuy (<i>Cavia porcellus</i>). - Dosis de biol (50% y 75%) Variable dependiente: Suelo degradado por aceites de automotores - Características físicas - Características químicas - Micronutrientes	Tipo: experimental puesto se actuará conscientemente sobre el objeto en estudio Enfoque: cuantitativo Alcance o nivel: explicativo Diseño: Experimental, con un grupo control y 2 grupos experimentales. Población: Suelo recolectado de los talleres mecánicos de vehículos motorizados. Muestra: Conformada por 150 kilos de suelo
Problemas específicos	Objetivos específicos			
¿Cuáles son las características físicas del suelo pre y post aplicación del biol? ¿Cuáles son las características químicas del suelo pre y post aplicación del biol? ¿Cuáles son las características de los micronutrientes del suelo pre y post aplicación del biol?	- Determinar las características físicas del suelo pre y post aplicación del biol. - Determinar las características químicas del suelo pre y post aplicación del biol. - Determinar las características de los micronutrientes del suelo pre y post aplicación del biol.			

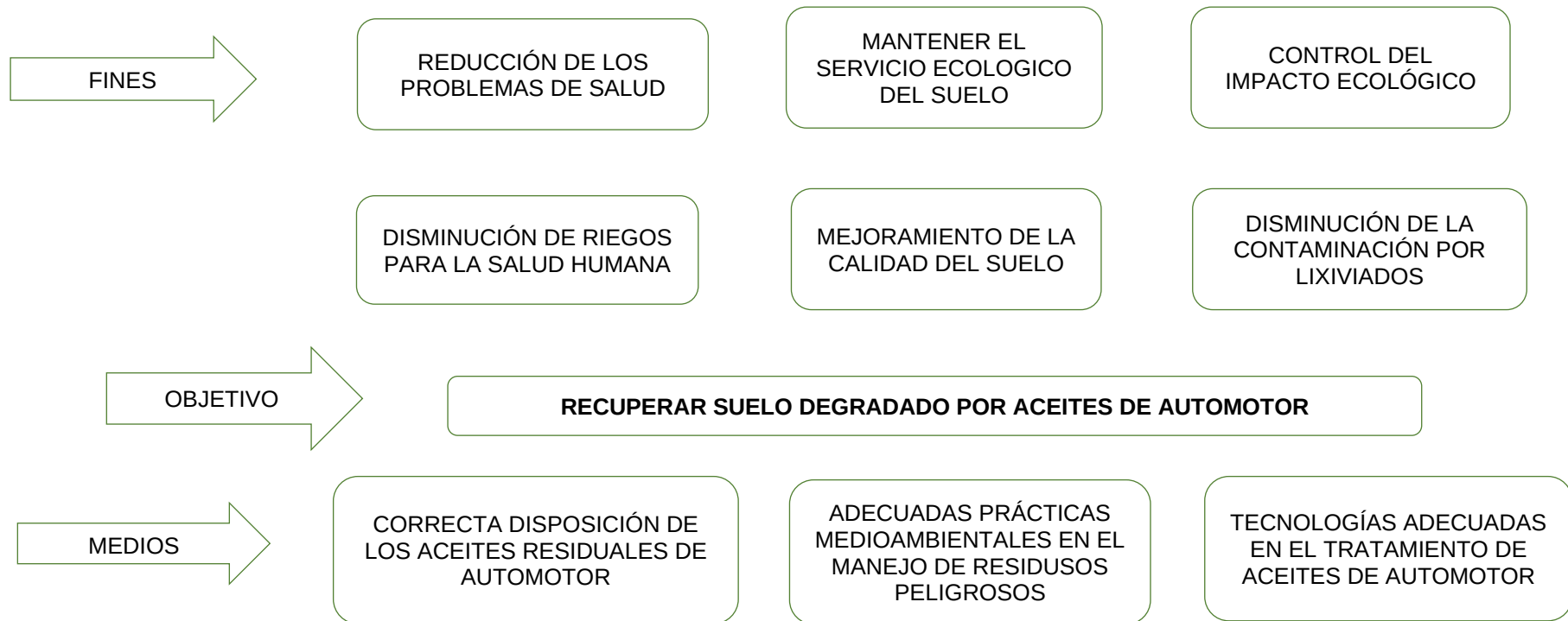
ANEXO 2

DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO



ANEXO 3

DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 4

CADENA DE CUSTODIA PARA MUESTRAS DE SUELO

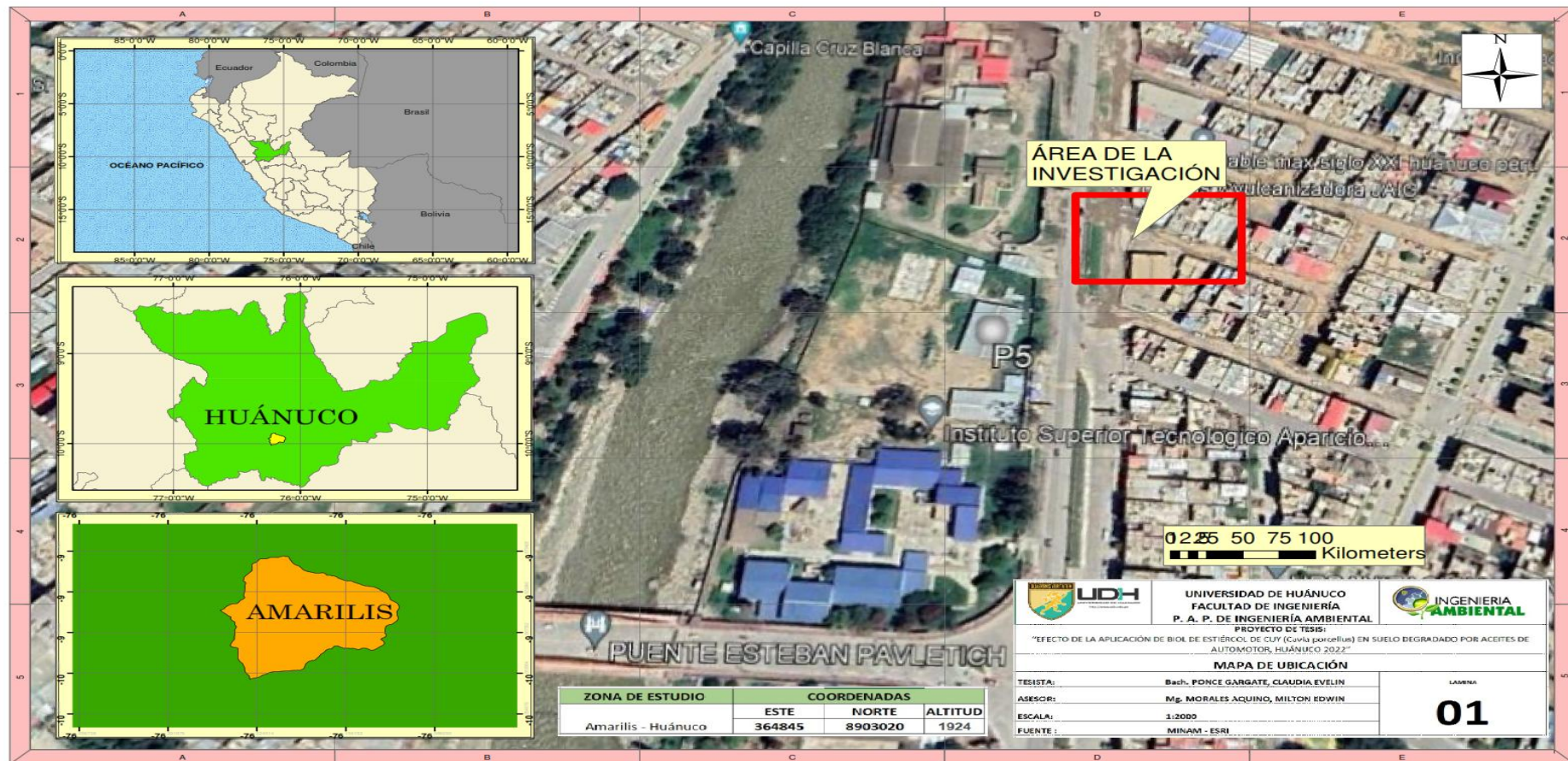
Datos del laboratorio:									Análisis que se requiere															
Nombre del Tesista:																								
Nombre del muestreador:																								
Fecha del muestreo:																								
Nombre del proyecto:																								
N° de solicitud:																								
Identificación de la Muestra	Código de la muestra de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	N° de envase																				
				Plástico	Vidrio	Preservante	Refrigeración																	

Comentarios:

Entregado por: _____ Representante de: _____ Firma : _____
 Día / Hora : _____ Entregado por: _____ Representante de: _____ Firma : _____
 Laboratorio Por: _____ Día / Hora : _____

ANEXO 5

MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO



ANEXO 6

ANÁLISIS DE LABORATORIO



ANÁLISIS DE SUELOS



SOLICITANTE: CLAUDIA EVELIN PONCE GARGATE

PROCEDENCIA: HUANUCO

FECHA DE REPORTE: 21/02/2024

RECIBO N°: PA30-2024

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO				ANÁLISIS QUÍMICO										ANÁLISIS QUÍMICO							
			Arena	Arilla	Limo	Clase Textural	pH	CE	Mat. Orgánica	N	C	P	K ₂ O	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Basas Cambiables	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio
			de	de	de		0-14	dSm	M.O.	total	Orgánico	disponible	Ca		Mg	K	Na	Al	H	Basas Cambiables		Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio	
			%	%	%		1:1	1:1	%	%	%	ppm	ppm		mmol(+)/kg	%	%	%						
1	PA30	M1 PRIMERA CAPA SUELO CON HIDROCARBURO	76.46	10.84	12.70	Arena Franca	7.77	8.20	0.19	0.0097	0.1121	144.469	177.8769	7.391	5.920	0.689	0.564	0.218	0.000	0.000	--	100.000	0.000	0.000

Los Resultados presentados son válidos únicamente para los fines analíticos. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LAGSE.
Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María



Dr. HUGO ALFREDO GUAMÁN YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Biotecnología





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María



Ing. GILMER WILTON NIZA TRUJILLO
Profesor de Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Biotecnología



ANALISIS DE SUELOS



SOLICITANTE: CLAUDIA EVELIN PONCE GARGATE
PROCEDENCIA: HUANUCO

FECHA DE REPORTE: 21/02/2024
RECIBO N° PA31-2024

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO			ANÁLISIS QUÍMICO										ANÁLISIS QUÍMICO									
			Arena	Arella	Limo	Clase Textural	pH	CE	Matéria Orgánica	N	C	P	K ₂ O	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiables	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio	
			As	Ar	Lo		0-14	dSm	M.O.	total	Orgánico	disponible			Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Aluminio	Hidrógeno		%	%	%	
			%	%	%		1:1	1:1	%	%	%	ppm	ppm		CAMBIABLES Cmol(+) / kg										
	CÓDIGO DEL LAB.	CÓDIGO DEL SOLICITANTE	%	%	%																				
2	PA31	M2 SEGUNDA CAPA	80.46	10.84	8.70	Arena Franca	8.34	3.78	1.21	0.0604	0.7007	85.991	178.2565	6.835	5.480	0.666	0.498	0.192	0.000	0.000	--	100.000	0.000	0.000	

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del L.A.S.A.
Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALVARO HUAMAN YURANQUI
Jefe del Laboratorio de Suelos, Agua y Biotecnología



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Ing. GILBERTO ELTON RIVERA TRUJILLO
Profesor del Laboratorio de Suelos, Agua y Biotecnología



ANALISIS DE SUELOS



SOLICITANTE: CLAUDIA EVELIN PONCE GARGATE
PROCEDENCIA: HUAYUCO

FECHA DE REPORTE: 21/02/2024
RECIBO N° PA32-2024

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO				ANÁLISIS QUÍMICO																	
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	pH	CE	Materia Orgánica	N	C	P	K ₂ O	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Base Cambiables	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio
			Ar	Ar	Lo		0-14	dS/m	M.O.	total	Orgánico	disponible			Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Aluminio	Hidrogeno		%	%	%
	Código del Lab.	Código del SUESTRANTE	%	%	%		1:1	1:1	%	%	%	ppm	ppm		CAMBIABLES Cmol(+) / kg									
3	PA32	M3 TERCERA CAPA	78.46	10.84	10.70	Arena Franca	8.24	3.67	1.26	0.0628	0.7288	76.743	181.1850	6.947	5.590	0.674	0.493	0.190	0.000	0.000	--	100.000	0.000	0.000

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.
Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ANTONIO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Suelos de Suelos, Agua y Nutrientes



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Ing. GUILLERMO NELSON NEIRA TORRES
Profesor del Laboratorio de Suelos de Suelos, Agua y Nutrientes



ANÁLISIS DE SUELOS



SOLICITANTE: CLAUDIA EVELIN PONCE GARGATE
 PROCEDENCIA: HUANUCO

FECHA DE REPORTE: 3/06/2024
 RECIBO N° 48824

PROYECTO: "EFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOL DE ESTIERCOL DE CUY (Cavita parcelas) EN SUELO DEGRADADO POR DERRAME DE ACEITES DE AUTOMOTORES, HUANUCO 2024"

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO			ANÁLISIS QUÍMICO								ANÁLISIS QUÍMICO										
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	pH	CE	Matéria Orgánica	N	C	P	K ₂ O	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Base Cambiable	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio
			Ao	Arc	Lo		0-14	dS/m	M.O.	total	Orgánico	disponible	Calcio		Magnesio	Potasio	Sodio	Aluminio	Hidrógeno	%		%	%	
	CODIGO DEL LAB.	CODIGO DEL SOLICITANTE	%	%	%	1:1	1:1	%	%	%	ppm	ppm	CAMBIABLES					Cmo(+)kg	%	%	%			
1	S24-0478-1	M1 0%	72.40	10.84	16.70	Arena Franca	7.96	7.25	1.92	0.096	1.116	96.857	165.103	6.999	5.220	0.928	0.480	0.371	0	0	---	100	0	0
2	S24-0478-2	M2 0%	72.46	11.04	16.50	Arena Franca	8.04	7.66	1.91	0.095	1.105	96.454	181.492	6.951	5.120	0.957	0.506	0.368	0	0	---	100	0	0
3	S24-0478-3	M3 0%	74.46	10.44	15.10	Arena Franca	8.25	5.35	1.93	0.096	1.117	88.594	147.321	7.068	5.340	0.868	0.489	0.370	0	0	---	100	0	0
4	S24-0478-4	M4 0%	72.46	11.24	16.30	Arena Franca	8.10	7.43	1.87	0.094	1.087	96.219	148.466	7.293	5.476	0.982	0.464	0.371	0	0	---	100	0	0
5	S24-0478-5	M5 0%	71.46	11.44	17.10	Arena Franca	8.06	7.43	1.82	0.091	1.057	96.238	132.769	6.957	5.217	0.880	0.473	0.388	0	0	---	100	0	0
6	S24-0478-6	M6 50%	74.46	12.84	12.70	Arena Franca	9.02	5.27	2.34	0.117	1.359	121.554	255.487	12.344	9.570	1.458	0.753	0.563	0	0	---	100	0	0
7	S24-0478-7	M7 50%	73.66	14.84	11.50	Arena Franca	8.96	6.62	2.40	0.120	1.389	121.648	240.670	12.000	9.425	1.263	0.740	0.572	0	0	---	100	0	0
8	S24-0478-8	M8 50%	74.06	11.84	14.10	Arena Franca	8.92	6.40	2.24	0.112	1.299	126.343	251.269	12.364	9.539	1.497	0.750	0.579	0	0	---	100	0	0
9	S24-0478-9	M9 50%	74.26	12.44	13.30	Arena Franca	9.00	6.71	2.13	0.107	1.238	127.846	246.449	12.056	9.474	1.252	0.732	0.598	0	0	---	100	0	0
1	S24-0478-10	M10 50%	74.16	12.24	13.60	Arena Franca	8.74	6.52	2.08	0.104	1.208	121.460	247.051	11.920	9.307	1.298	0.733	0.582	0	0	---	100	0	0
2	S24-0478-11	M11 75%	70.46	10.84	18.70	Arena Franca	9.00	5.59	4.58	0.229	2.658	159.492	310.321	20.330	16.568	2.075	0.964	0.724	0	0	---	100	0	0
3	S24-0478-12	M12 75%	70.46	11.84	17.70	Arena Franca	8.95	7.82	3.28	0.164	1.903	161.933	305.500	20.578	16.872	2.138	0.859	0.708	0	0	---	100	0	0
4	S24-0478-13	M13 75%	70.26	11.44	18.30	Arena Franca	8.93	6.03	3.80	0.190	2.205	159.304	308.513	21.190	17.397	2.130	0.962	0.701	0	0	---	100	0	0
1	S24-0478-14	M14 75%	70.16	11.04	18.80	Arena Franca	9.14	5.64	3.07	0.154	1.782	153.576	313.936	21.383	17.622	2.163	0.891	0.707	0	0	---	100	0	0
1	S24-0478-15	M15 75%	70.14	11.00	18.86	Arena Franca	8.90	5.75	3.05	0.152	1.767	161.558	320.564	20.812	17.040	2.123	0.934	0.715	0	0	---	100	0	0

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.
 Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



ANEXO 7

PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1

Preparación del terreno de trabajo



Fotografía 2

Insumos para el biol



Fotografía 3

Activación del biol



Fotografía 4

Sellado del tanque para la fermentación del biol



Fotografía 5

Recolección de muestras de suelo



Fotografía 6

Biol maduro, dosificación



Fotografía 7

Separación de los grupos experimentales



Fotografía 8

Dosificación del biol en los grupos experimentales



Fotografía 9

Visita y supervisión del experimento, por parte del jurado



Fotografía 10

Visita y supervisión por parte del jurado

