

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**“Efecto de enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto
(*Eucalyptus globulus*) en la mejora de calidad del suelo degradado
por pesticidas, Huánuco - 2024”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL

AUTOR: Vargas Ampiche, Cristian Erick

ASESOR: Gamez Penadillo, Joel

HUÁNUCO – PERÚ

2026



U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Biotecnología y Nanotecnología

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería ambiental

Disciplina: Ingeniería ambiental y geológica

D

DATOS DEL PROGRAMA:

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

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 72882683

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 23018222

Grado/Título: Maestro en ciencias económicas, mención: Proyectos de inversión

Código ORCID: 0000-0003-4228-565X

H

DATOS DE LOS JURADOS:

| N° | APELLIDOS Y NOMBRES | GRADO | DNI | Código ORCID |
|----|-------------------------------|--|----------|---------------------|
| 1 | Zacarías Ventura, Héctor Raúl | Doctor en ciencias de la educación | 22515329 | 0000-0002-7210-5675 |
| 2 | Cámara Llanos, Frank Erick | Doctor en ciencias de la salud | 44287920 | 0000-0001-9180-7405 |
| 3 | Morales Aquino, Milton Edwin | Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible | 44342697 | 0000-0002-2250-3288 |



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 15 del mes de mayo del año 2026, 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:

- Dr. Hector Raul Zacarias Ventura (Presidente)
- Dr. Frank Erick Camara Llanos (Secretario)
- Dr. Milton Edwin Morales Aquino (Vocal)

Nombrados mediante la Resolución N° 0763-2026-D-FI-UDH para evaluar la Tesis intitulada: "EFECTO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS BOCASHI Y BIOCHAR DE EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus*) EN LA MEJORA DE CALIDAD DEL SUELO DEGRADADO POR PESTICIDAS, HUÁNUCO - 2024", presentado por el (la) Bach. VARGAS AMPICHE, CRISTIAN ERICK 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 13 y cualitativo de SUFICIENTE (Art. 47)

Siendo las 17:15 horas del día 15 del mes de Mayo del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Dr. Hector Raul Zacarias Ventura
DNI: 22515329
ORCID: 0000-0002-7210-5675
Presidente

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

Dr. Milton Edwin Morales Aquino
DNI: 44342697
ORCID: 0000-0002-2250-3288
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: CRISTIAN ERICK VARGAS AMPICHE, de la investigación titulada "Efecto de enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en la mejora de calidad del suelo degradado por pesticidas, Huánuco - 2024", con asesor(a) JOEL GAMEZ PENADILLO, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1223-2023-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 25 % 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, 27 de marzo de 2026



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

180. CRISTIAN ERICK VARGAS AMPICHE.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

INDICE DE SIMILITUD

25%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|--|----|
| 1 | repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet | 6% |
| 2 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 3% |
| 3 | renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet | 2% |
| 4 | www.scielo.org.mx Fuente de Internet | 1% |
| 5 | scielo.sld.cu Fuente de Internet | 1% |



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A Dios en primer lugar, ya que toda sabiduría es un don que proviene de él, a mi madre por el sacrificio y anhelo de verme realizado como un profesional, por los valores inculcados el amor incondicional y su apoyo inagotable hasta el fin de sus días, aunque no esté presente físicamente sé que desde donde está me ayuda y bendice, a mi esposa por los consejos y aliento a lo largo de este camino universitario, a mi hija por ser el motivo de seguir superándome, a mi padre, hermanos, familiares, docentes y amigos que me aconsejaron. En ofrenda a ellos por su aliento y creer en mí, entrego este trabajo con mucho esfuerzo.

AGRADECIMIENTOS

Gracias Dios por la vida y tu cuidado durante mi etapa de universitario, llevándome a las aulas y a casa con bien, por permitirme terminar mi estudio superior de la mejor manera, a mi madre por siempre estar presente en cada paso que doy por el aliento que los sueños se pueden alcanzar con esfuerzo y dedicación, gracias a mi familia por permitirme cumplir un anhelo, desarrollando esta tesis, por cada mensaje alentador, llamada de atención y motivación a lo largo de estos años.

Gracias al Mg. Joel Gamez Penadillo, asesor de este proyecto. Por la ayuda y paciencia en el desarrollo de las actividades necesarias y llevar acabo cada proceso. Como también, a los jurados revisores quienes pudieron brindar el aporte necesario basado en las observaciones y alcances necesarios para un mejor cumplimiento de los objetivos.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| DEDICATORIA | II |
| AGRADECIMIENTOS..... | III |
| ÍNDICE..... | IV |
| ÍNDICE DE TABLAS | VII |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | VIII |
| RESUMEN..... | X |
| ABSTRACT..... | XI |
| INTRODUCCIÓN..... | XII |
| CAPÍTULO I..... | 13 |
| PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN | 13 |
| 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA..... | 13 |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 16 |
| 1.2.1. PROBLEMAS ESPECÍFICOS..... | 16 |
| 1.3. OBJETIVOS..... | 16 |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL | 16 |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 16 |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 17 |
| 1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN | 18 |
| 1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN..... | 18 |
| CAPÍTULO II..... | 19 |
| MARCO TEÓRICO | 19 |
| 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN | 19 |
| 2.1.1. ANTECEDENTE A NIVEL INTERNACIONAL..... | 19 |
| 2.1.2. ANTECEDENTE A NIVEL NACIONAL..... | 21 |
| 2.1.3. ANTECEDENTE A NIVEL LOCAL | 23 |
| 2.2. BASES TEÓRICAS | 25 |
| 2.2.1. ENMIENDAS ORGÁNICAS | 25 |
| 2.2.2. ABONOS ORGÁNICOS | 25 |
| 2.2.3. BENEFICIOS DE LOS ABONOS ORGÁNICOS | 26 |
| 2.2.4. BOCASHI | 27 |
| 2.2.5. BIOCHAR..... | 30 |

| | |
|--|----|
| 2.2.6. COMPOST | 32 |
| 2.2.7. DIGESTADOS (BIOLES O BIOSOLES)..... | 33 |
| 2.2.8. CALIDAD DE SUELO..... | 34 |
| 2.2.9. SUELOS..... | 34 |
| 2.2.10. COMPOSICIÓN DEL SUELO | 34 |
| 2.2.11. SUELOS DEGRADADOS | 35 |
| 2.2.12. ANÁLISIS DE SUELO | 35 |
| 2.2.13. TRATAMIENTO DE SUELOS | 35 |
| 2.2.14. PROPIEDADES DEL SUELO | 36 |
| 2.2.15. DEGRADACIÓN DE SUELO | 41 |
| 2.2.16. RECUPERACIÓN DE SUELOS..... | 42 |
| 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES | 42 |
| 2.4. HIPÓTESIS..... | 45 |
| 2.5. VARIABLES..... | 45 |
| 2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE..... | 45 |
| 2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE | 45 |
| 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES..... | 46 |
| CAPÍTULO III..... | 47 |
| MARCO METODOLÓGICO | 47 |
| 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN | 47 |
| 3.1.1. ENFOQUE | 47 |
| 3.1.2. ALCANCE O NIVEL | 47 |
| 3.1.3. DISEÑO | 47 |
| 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA | 48 |
| 3.2.1. POBLACIÓN | 48 |
| 3.2.2. MUESTRA..... | 48 |
| 3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 48 | |
| 3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS..... | 48 |
| 3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS..... | 53 |
| 3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN..... | 53 |
| CAPÍTULO IV..... | 54 |
| RESULTADOS..... | 54 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS | 54 |
| 4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS | 57 |
| CAPÍTULO V..... | 77 |
| DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 81 |
| CONCLUSIONES | 85 |
| RECOMENDACIONES..... | 87 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 88 |
| ANEXOS..... | 95 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Equipos de protección | 49 |
| Tabla 2 Equipos y materiales | 50 |
| Tabla 3 Formatos y registros de campo | 50 |
| Tabla 4 Proporción de la aplicación de las enmiendas..... | 51 |
| Tabla 5 Datos pre experimentales | 54 |
| Tabla 6 Datos experimentales después del tratamiento con bocashi | 55 |
| Tabla 7 Datos experimentales después del tratamiento con biochar | 56 |
| Tabla 8 Distribución de texturas del suelo antes y después del experimento | 57 |
| Tabla 9 Propiedades químicas del suelo después de los tratamientos | 58 |
| Tabla 10 Cromatografía inicial (pre muestra) | 67 |
| Tabla 11 Cromatografía final tratamiento con bocashi (post muestra) | 68 |
| Tabla 12 Cromatografía final tratamiento con biochar (post muestra)..... | 69 |
| Tabla 13 Prueba de normalidad | 76 |
| Tabla 14 Prueba paramétrica t de Student de muestras emparejadas..... | 77 |
| Tabla 15 Prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras emparejadas | 78 |
| Tabla 16 Conclusiones estadísticas por indicador..... | 78 |
| Tabla 17 Interpretación del efecto sobre las propiedades mecánicas del suelo | 79 |
| Tabla 18 Efecto de los tratamientos sobre las propiedades químicas del suelo | 80 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Matriz experimental | 52 |
| Figura 2 Grupo experimental 1..... | 52 |
| Figura 3 Grupo experimental 2..... | 53 |
| Figura 5 Comparación de la clase textural del suelo en los tratamientos . | 57 |
| Figura 6 Diferencias del pH en los tratamientos..... | 59 |
| Figura 7 Diferencias de la Conductividad en los tratamientos | 60 |
| Figura 8 Diferencias de la Materia orgánica en los tratamientos..... | 61 |
| Figura 9 Diferencias de la CIC en los tratamientos | 62 |
| Figura 10 Diferencias del Nitrógeno en los tratamientos | 63 |
| Figura 11 Diferencias del Carbono en los tratamientos | 64 |
| Figura 12 Diferencias del Potasio en los tratamientos | 65 |
| Figura 13 Diferencias del Fósforo en los tratamientos | 66 |
| Figura 14 Pre muestra (antes de la intervención) | 70 |
| Figura 15 Post muestra bocahsi (PM1) | 70 |
| Figura 16 Post muestra bocahsi (PM2) | 71 |
| Figura 17 Post muestra bocahsi (PM3) | 71 |
| Figura 18 Post muestra bocahsi (PM4) | 72 |
| Figura 19 Post muestra bocahsi (PM5) | 72 |
| Figura 20 Post muestra biochar (M1) | 73 |
| Figura 21 Post muestra biochar (M2) | 73 |
| Figura 22 Post muestra biochar (M3) | 74 |
| Figura 23 Post muestra biochar (M4) | 74 |
| Figura 24 Post muestra biochar (M5) | 75 |

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍA

| | |
|--|-----|
| Fotografía 1 Área de ejecución del proyecto | 103 |
| Fotografía 2 Preparación del terreno para la ejecución del proyecto | 103 |
| Fotografía 3 Delimitación del área de desarrollo del proyecto | 104 |
| Fotografía 4 Muestra de suelo antes de incorporar enmiendas orgánicas | 104 |
| Fotografía 5 Elaboración de Bocashi para bioestimular el suelo | 105 |
| Fotografía 6 Bocashi listo para ser añadido al suelo | 105 |
| Fotografía 7 Elaboración de Biochar de Eucalipto | 106 |
| Fotografía 8 Biochar de Eucalipto listo para ser utilizado | 106 |
| Fotografía 9 Recipientes para grupos experimentales por tipo enmienda | 107 |
| Fotografía 10 Enmiendas ya combinadas con el suelo a trabajar | 107 |
| Fotografía 11 Visita del jurado al proyecto. Mg. Frank Cámara Llanos ... | 108 |
| Fotografía 12 Muestra final del suelo para el análisis en laboratorio | 108 |

RESUMEN

La presente investigación titulada: “Efecto de enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en la mejora de calidad del suelo degradado por pesticidas, Huánuco – 2024”. Cuyo objetivo planteado fue evaluar el efecto de las enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en la mejora de calidad del suelo degradado por pesticidas. La investigación adoptó una metodología experimental de alcance explicativo, con dos grupos experimentales: uno tratado con bocashi y otro con biochar de eucalipto. Ambos grupos se sometieron a evaluaciones pre y post tratamiento para medir mejoras en suelos degradados por pesticidas. Se mantuvo el pH entre un rango neutro, registrando valores de 7.68 para el bocashi y 8.19 para el biochar, lo que evidenció un claro efecto neutralizante sobre la acidez inicial del suelo. La conductividad eléctrica (CE) mejoró notablemente con el bocashi, que pasó de 0.16 a 1.42 dS/m, así mismo el biochar alcanzó 0.66 dS/m. La materia orgánica se estabilizó en niveles medios, con 3.32% en el bocashi y 2.92% en el biochar, lo que se reflejó en un aumento de los nutrientes NPK disponibles. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) permaneció por debajo del rango óptimo, aunque mostró incrementos significativos: de 10.466 meq/100 g a 13.89 meq/100 g con bocashi, y de 10.466 meq/100 g a 16.31 meq/100 g con biochar. En la cromatografía inicial, se observó la ausencia de la zona central, señal de un suelo pobre en actividad biológica y materia orgánica. Tras la aplicación de las enmiendas, surgió un color cremoso, indicativo de una cantidad moderada a alta de materia orgánica, lo que mejoró la retención de nutrientes y la estructura del suelo. En conclusión, tanto el bocashi como el biochar de eucalipto mejoraron significativamente la calidad del suelo degradado, con efectos comparables entre ambas enmiendas orgánicas.

Palabras claves: Suelo, biochar, bocashi, pesticidas , sostenibilidad.

ABSTRACT

This research entitled: "Effect of organic amendments bocashi and biochar of eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) in the improvement of quality of soil degraded by pesticides, Huánuco – 2024". Its objective was to evaluate the effect of organic amendments bocashi and biochar of eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) on the improvement of the quality of soil degraded by pesticides. The research adopted an experimental methodology of explanatory scope, with two experimental groups: one treated with bocashi and the other with eucalyptus biochar. Both groups underwent pre- and post-treatment evaluations to measure improvements in soils degraded by pesticides. The pH was maintained within a neutral range, registering values of 7.68 for bocashi and 8.19 for biochar, which evidenced a clear neutralizing effect on the initial acidity of the soil. Electrical conductivity (EC) improved significantly with bocashi, which went from 0.16 to 1.42 dS/m, and biochar reached 0.66 dS/m. Organic matter stabilized at medium levels, with 3.32% in bocashi and 2.92% in biochar, which was reflected in an increase in available NPK nutrients. Cation exchange capacity (CEC) remained below the optimal range, although it showed significant increases: from 10.466 meq/100 g to 13.89 meq/100 g with bocashi, and from 10.466 meq/100 g to 16.31 meq/100 g with biochar. In the initial chromatography, the absence of the central zone was observed, a sign of a soil poor in biological activity and organic matter. Following the implementation of the amendments, a creamy color emerged, indicative of a moderate to high amount of organic matter, which improved nutrient retention and soil structure. In conclusion, both bocashi and eucalyptus biochar significantly improved the quality of the degraded soil, with comparable effects between both organic amendments.

Keywords: Soil, biochar, bocashi, pesticides and sustainability.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo por el empleo indiscriminado de pesticidas constituyó un problema en ascenso en la agricultura contemporánea. Aunque estos agroquímicos resultaron eficaces contra plagas y enfermedades, provocaron efectos adversos a largo plazo, como la degradación estructural del suelo, la disminución de la biodiversidad microbiana y la acumulación de residuos tóxicos que afectaron la productividad agrícola y la salud ambiental.

El empleo de enmiendas orgánicas cobró relevancia como método para recuperar suelos contaminados y potenciar sus atributos fisicoquímicos y biológicos. Entre estas enmiendas destacan el bocashi y el biochar, que se producen mediante procesos de fermentación y pirólisis, respectivamente. El bocashi es conocido por su alta actividad microbiana, que favorece la mineralización de nutrientes y la recuperación de la vida microbiana en el suelo. Por otro lado, el biochar, debido a su alta estabilidad y estructura porosa, puede contribuir a la retención de nutrientes y la adsorción de contaminantes, reduciendo la toxicidad de los residuos de pesticidas.

Este proyecto tiene como objetivo evaluar el efecto de las enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto en la mejora de la calidad de suelos degradados por pesticidas. Se examinaron parámetros esenciales, como la capacidad de intercambio catiónico y la retención de nutrientes, para establecer la efectividad de estas enmiendas en la restauración de la fertilidad y la calidad ambiental del suelo afectado.

En Huánuco, donde la agricultura es una actividad esencial, la recuperación de suelos degradados por pesticidas es fundamental para lograr una producción sostenible y reducir los riesgos ambientales.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El suelo es un recurso natural esencial, correspondiente a la capa superficial de la Tierra. La corteza terrestre alberga agua y nutrientes vitales para los seres vivos. En la actualidad, el aumento demográfico impactó negativamente este recurso mediante la contaminación antropogénica, donde el suelo degradado emergió como uno de los principales problemas. Por consiguiente, la relevancia de un enfoque ambiental se evidenció con mayor claridad en la búsqueda de soluciones rápidas para combatir la contaminación de este valioso elemento.

Un informe con evidencia científica demostró que la contaminación del suelo degrada seriamente los servicios ecosistémicos principales provistos por este recurso. Dicha contaminación compromete la seguridad alimentaria al disminuir los rendimientos agrícolas por niveles tóxicos de contaminantes, haciendo que las cosechas de suelos afectados resulten peligrosas para el consumo animal y humano. Varios contaminantes, incluidos nutrientes clave como nitrógeno y fósforo, se trasladaron desde el suelo hacia aguas superficiales y subterráneas, provocando daños ambientales mediante eutrofización y riesgos directos a la salud humana por agua potable contaminada (Eugenio et al., 2019).

Según las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), dos tercios de la humanidad están subalimentados y, a causa de ello, la producción agrícola ha aumentado. La fabricación de pesticidas orgánicos sintéticos experimentó un incremento global desde inicios del siglo XX, impulsada por el avance de la industria petrolera. Aunque estos pesticidas integraban un conjunto más amplio de productos químicos industriales. Las empresas globales emplearon estos compuestos como un valioso recurso económico en la sociedad contemporánea. Según la base de datos de la American Chemical Society, en 1993 se registraron más de 13 millones de productos químicos, a los que se

agregaron anualmente unos 500.000 nuevos compuestos. Esto incrementó la carga de sustancias contaminantes en los suelos, además de provocar la desaparición de especies silvestres mediante la expansión de cultivos hacia nuevos territorios y la intoxicación por residuos químicos (Campos, 2018).

La agricultura química introducida hace medio siglo devastó el método tradicional de cultivo de Corea. Los fertilizantes sintéticos al principio impulsaron el crecimiento del cultivo, pero, por otra parte, la degradación del suelo disminuye la productividad. Tradicionalmente, todos los hogares agrícolas tenían vacas, cerdos o pollos alimentados exclusivamente con materiales agrícolas cultivados por el agricultor. La agricultura industrial introducida como moderna sacó a los animales del seno del agricultor y los arrojó a condiciones de vida infernales. En la cría de animales tradicional, el 100 por ciento de los alimentos se preparaba en el hogar y el estiércol se utilizaba como fertilizante valioso. Este sistema fue reemplazado por un sistema que importa alimentos comerciales y emite aguas residuales que causan una grave contaminación del agua si no se tratan (Cho, 2018).

En América Latina y el Caribe, el sostenido aumento de la producción agrícola se vinculó a un empleo masivo de pesticidas altamente tóxicos, agravado por la escasa asistencia técnica, la insuficiente capacitación laboral y la deficiente aplicación de normativas. No obstante, el uso intensivo de estos químicos, tanto en agricultura como en control de vectores, no solo deterioró la calidad del suelo, sino que también generó exposición ocupacional crónica, particularmente entre los trabajadores del campo (OPS, 2022).

Como exportador de productos agrícolas, el Perú permitió el empleo de plaguicidas. No obstante, un estudio realizado por científicos del Institut de Recherche pour le Développement (IRD) reveló niveles extremadamente altos de contaminación en poblaciones de los Andes centrales del país. Además, vinculó los mayores índices de contaminación y degradación con las zonas geográficas donde se utilizaban estos productos. Aunque numerosos artículos ya habían documentado la contaminación ambiental causada por ellos, la preocupación radicaba en que tales investigaciones no evaluaban la exposición humana directa. Stéphane Bertani, biólogo molecular en su

análisis de la contaminación en personas de los Andes centrales peruanos, afirmó: Era necesario equilibrar el número de individuos muestreados con las moléculas a examinar. Analizamos muestras de 50 personas, la mitad urbanas y la otra rural en busca de 170 pesticidas o sus metabolitos. Investigar 170 moléculas en 50 personas resultó una labor considerable (IRD, 2023).

En la Región de Huánuco debido al crecimiento territorial se ha generado la extensión u ocupación de los suelos para agricultura, edificaciones, viviendas o carreteras, estas prácticas provocaron pérdida de la calidad del suelo, siendo la agricultura una de las actividades que utiliza incontrolablemente los pesticidas en el afán de producción de los diferentes cultivos, desequilibrando el estado natural del suelo causando la alteración y contaminación del medio ambiente. Con esta investigación queremos buscar soluciones a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos para producir bocashi y biochar que ayuden en la restauración de la calidad del suelo, estimulando los nutrientes y contribuyendo en el cuidado del medio ambiente.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuál es el efecto de las enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en la mejora de calidad del suelo degradado por pesticidas, Huánuco – 2024?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuáles son las características químicas del suelo degradado por pesticidas antes y después de la aplicación de enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Huánuco – 2024?
- ¿Cuáles son las características biológicas del suelo degradado por pesticidas antes y después de la aplicación de enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Huánuco – 2023?
- ¿Cómo determinar si las enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) tienen mejor efectividad para restaurar suelos degradados por pesticidas?
- ¿Cuál es la efectividad vista en la técnica de cromatografía de las enmiendas orgánica en la mejora de calidad del suelo degradado?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Demostrar el efecto de las enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en la mejora de calidad del suelo degradado por pesticidas, Huánuco.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la calidad del suelo degradado por pesticidas después de la aplicación de bocashi sobre el suelo.

- Evaluar la calidad del suelo degradado por pesticidas después de la aplicación biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) sobre el suelo.
- Evaluar a través de la técnica de cromatografía la efectividad de las enmiendas orgánica en la mejora de calidad del suelo degradado.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Mediante la propuesta de las enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) se buscó solucionar la problemática de suelos degradados ocasionados por el uso de pesticidas en la producción y uso del suelo agrícola.

A nivel ambiental, se aplicó el tratamiento para desarrollar nuevos métodos ecosostenibles y el uso responsable del suelo como recurso natural. De igual modo poder demostrar que las enmiendas orgánicas son una alternativa eco-amigable, de bajo costo, para la producción agraria y la nutrición del suelo, así poder reemplazar el uso de pesticidas y recuperar nuestros suelos, evitando la contaminación ambiental que causan estas sustancias químicas.

A nivel social, ante los elevados índices de contaminación, degradación del suelo, escasa cobertura vegetal, baja calidad vegetal y limitada capacidad productiva agrícola. La tierra es el recurso natural más importante y valioso ya que proporciona alimento a los seres vivos y les permite sustentar económicamente a sus familias. Sin embargo, la actividad humana por falta de conocimiento y conciencia muchas veces hace un mal uso de este recurso sin darse cuenta del gran daño que causan al suelo y a otros ecosistemas que dependen de este recurso.

Por ello, se enfatizó la necesidad de soluciones óptimas, eco-amigables con el medio ambiente, económicas y fáciles de aplicar. Analizando y evaluando el efecto que causan estas enmiendas orgánicas para así disminuir el uso de fertilizantes químicos para el suelo. Fomentado una conciencia ambiental y eco-amigable con el medio ambiente.

El valor teórico radicó en generar nuevas soluciones experimentales a partir de las conclusiones obtenidas, mientras que la implicancia metodológica se centró en la aplicabilidad de la técnica para futuras investigaciones.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Durante la ejecución del proceso, se identificaron limitaciones como las condiciones climáticas adversas, la distancia al sitio de tratamiento y la necesidad de monitoreo constante del suelo. Además, el análisis de laboratorio implicó altos costos, ya que la ciudad de Huánuco no se cuenta con laboratorios acreditados por DIGESA; por ello, las muestras se enviaron al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, que se encuentra ubicado en la ciudad de Tingo María.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

- El suelo degradado a causa del uso de pesticidas repercute en la salud y medio ambiente, se buscó la efectividad de estas enmiendas, para recuperar el suelo degradado y sustituir a los pesticidas.
- La investigación demostró viabilidad operativa, pues se dispuso de los recursos esenciales como movilidad y materiales requeridos.
- La investigación demostró viabilidad técnica, gracias al asesoramiento de los docentes universitarios especializados y conocedores del área de estudio.
- Durante el desarrollo de la investigación, se priorizó el respeto hacia los pobladores y personas vinculadas al área de estudio, evitando causarles perjuicios e informándoles que el estudio les reportaría beneficios directos o indirectos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTE A NIVEL INTERNACIONAL

Aquino (2020) en su tesis con título “*Biorremediación de suelo degradado por pesticida a partir de un sustrato (Biochar inoculado con microorganismos eficientes y lixiviados)*” Universidad de Guayaquil. Este trabajo de titulación se desarrolló con el propósito de ofrecer una alternativa agroecológica para la remediación de suelos mediante la creación de un sustrato orgánico. Se ejecutaron dos fases: una de versión bibliográfica sobre el empleo de pesticidas en suelos agrícolas, y otra experimental que incluyó procesos de pirólisis, lixiviación y fermentación. Inicialmente, se caracterizó el suelo degradado, revelando niveles de nutrientes por debajo de los considerados como óptimos. Para su biorremediación, se dispusieron en 3 celdas experimentales 2 kg de suelo degradado suministrando las formulaciones de los sustratos 1, 2 y 3 controlando niveles de nutrientes y pH tres veces por semana durante 30 días. Posteriormente, la evaluación del sustrato arrojó resultados como pH de 6.4, NH₄ = 24 ug/ml, K=146 ug/ml, P=17ug/ml se concluyó que los elementos del sustrato elevaron significativamente los niveles nutricionales respecto al suelo inicial.

Hernández et al. (2021) en la revista académica “*Biodegradación de plaguicidas organofosforados y organoclorados por candida tropicalis y stentrophomonas maltophilia en microcosmos del suelo*”, destacaron que en México los plaguicidas organofosforados y organoclorados, por su persistencia ambiental, generaron impactos negativos en ecosistemas. En su estudio, emplearon *Candida tropicalis* y *Stentrophomonas maltophilia* en microcosmos del suelo con el objetivo de biodegradar el malatión, paratión, clorpirifos, aldrín y lindano, determinando además condiciones óptimas de crecimiento para ambos microorganismos. La concentración inicial de plaguicidas alcanzó 130

mg/kg. *C. tropicalis* degradó en un valor alto el malatión (98.32 %), lindano (81.01 %) y clorpirifos (74.23 %), mientras *S. maltophilia* eliminó el malatión (98.23 %), aldrín (80.17 %) y lindano (75.85 %). En cuanto a las condiciones de cultivo para la producción de altas densidades celulares a nivel biorreactor, se obtuvo un valor alto de biomasa (132 g/L) para *C. tropicalis* a 36 °C, 140 rpm, pH 5 y una aireación de 2 vvm. En el caso de *S. maltophilia*, la biomasa fue menor respecto a la levadura (54 g/L) en las mejores condiciones de cultivo (28 °C, 70 rpm, pH 5 y una aireación de 2 vvm). El estudio concluyó, por primera vez, que la levadura *C. tropicalis* degradaba plaguicidas organofosforados y organoclorados, proponiéndola como agente biológico ideal para remediación de suelos contaminados, dada su facilidad de manejo en medios líquidos.

Almela y Dolores (2021) en su tesis "*Construyendo materia orgánica en suelos degradados bajo clima semiárido mediante el uso de enmiendas orgánicas*" de la Universidad de Murcia (España), evaluaron la capacidad y eficacia de diversas enmiendas orgánicas aplicadas a diferentes dosis, en suelos agrícolas y no agrícolas, a corto, mediano y largo plazo. Su objetivo consistió en crear pools de C orgánico en el suelo, para garantizar la sostenibilidad de suelos semiáridos. La metodología de estos ensayos analizó parámetros agronómicos (textura, pH, densidad, capacidad retención hídrica, estabilidad agregados, materia orgánica, C total, nitrógeno tota, sustancias húmicas, macro y micronutrientes), ambientales (conductividad eléctrica, Na⁺, nitratos, nitrógeno soluble y metales pesados) y de diversidad microbiana (enzimas, respiración microbiana y análisis de la estructura de la comunidad microbiana). Los resultados revelaron que las enmiendas orgánicas mejoraron la calidad general del suelo, sus propiedades agronómicas y la diversidad microbiana, sin impactos ambientales negativos. Como conclusión señaló que la incorporación de enmiendas orgánicas de diversos orígenes y grados de estabilidad a suelos semiáridos degradados, tanto agrícolas como no agrícolas mejoró su calidad general y sus propiedades agronómicas y de diversidad

microbiana, sin generar impactos ambientales negativos. La aplicación de fuentes exógenas de carbono (enmiendas orgánicas de calidad) con manejo adecuado se consideró una estrategia sostenible y esencial para preservar y optimizar este valioso recurso natural.

2.1.2. ANTECEDENTE A NIVEL NACIONAL

Corrales y Rosales (2022) en su tesis con título “*Elaboración de enmiendas orgánicas y su aplicabilidad para la mejora de la calidad y capacidad productiva de suelos salinos de Chilca a escala piloto*” de la Universidad San Ignacio de Loyola, analizaron la degradación progresiva de los suelos de Chilca por mal manejo hídrico, uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas, y deficiente gestión político-social. Esto derivó en salinización, que impedía el óptimo crecimiento de cultivos al reducir nutrientes, alterar materia orgánica, conductividad eléctrica y pH fuera de rangos ideales, afectando directamente a agricultores y poblaciones dependientes. Dado que el suelo constituye un recurso natural crucial, se enfatizó su preservación mediante prácticas sostenibles para recuperar suelos degradados. El estudio respondió a la interrogante: ¿Cómo mejorar la calidad y capacidad productiva de los suelos salinos de Chilca? Su objetivo principal evaluó el efecto de enmiendas orgánicas al 20%, 25% y 30%. Iniciado en marzo de 2021, el piloto abarcó caracterización y pretratamiento de residuos, elaboración de enmiendas, comparación de calidad y productividad con compost y vermicompost, y monitoreo de parámetros durante el compostaje.

Castillo (2018) en su tesis con título; “*Aplicación de enmiendas orgánicas y microorganismos eficientes para la mejora de la calidad del suelo en el anexo 22 – Jicamarca*” de la Universidad César Vallejo – Lima. Buscó determinar el grado de influencia de distintos tipos de enmiendas orgánicas en las propiedades fisicoquímicas del suelo para elevar su calidad en esa zona. Adoptó un diseño experimental puro, con un grupo control y grupos comparativos. Se probaron tres enmiendas elaboradas a partir de residuos orgánicos y vegetales, procesando los datos mediante Microsoft Excel v. 2016 con gráficos de dispersión para

contrastar los cambios generados por cada tratamiento. Los resultados indicaron que la acidez del suelo disminuyó en 40 días, señal de degradación inicial de los residuos orgánicos. A los 70 días, el pH alcanzó 7.9, reflejando la degradación completa del material orgánico en promedio. Se concluyó que la aplicación de estas enmiendas redujo el volumen inicial de residuos orgánicos, correlacionándose directamente con el aumento de concentraciones de nutrientes N, P y K esenciales para optimizar las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Munive (2018) en su tesis con título "*Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de Stevia y fitorremediación*" de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Resume que: Evaluó la eficiencia de enmiendas orgánicas combinadas con maíz y girasol como plantas fitorremediadoras. El experimento se realizó en el Laboratorio de Fertilidad de la institución, utilizando suelos de Mantaro y Muqui (valle del Mantaro, Junín), donde los niveles de plomo (Pb) y cadmio (Cd) superaban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) peruanos. Los suelos con mayores concentraciones de Pb y Cd (presentes en Muqui) mostraron efectos negativos: Menor rendimiento de materia seca en hojas, tallos y raíces de maíz y girasol, así como desarrollo más lento. Las enmiendas orgánicas facilitaron la solubilización de estos metales para su absorción vegetal. El maíz acumuló Pb principalmente en raíces (80%), hojas (15%) y tallos (5%), y Cd en raíces (91%), hojas (6%) y tallos (3%). El girasol distribuyó Pb en raíces (55%), hojas (42%), flores (5%) y tallos (3%), y Cd en raíces (40%), hojas (32%), tallos (20%) y flores (8%). Los cultivos extrajeron más Pb de suelos con alto contenido (Muqui) y más Cd de suelos con bajo contenido (Mantaro). El vermicompost de Stevia resultó el más efectivo para la absorción de nutrientes, sin afectar negativamente a las plantas pese a las altas concentraciones metálicas. Los cálculos de Factor de Bioacumulación (FBC) y Factor de Traslación (FT) clasificaron al maíz y girasol como plantas exclusoras o estabilizadoras.

2.1.3. ANTECEDENTE A NIVEL LOCAL

Modesto (2023) en su tesis con título “*Efecto del compost y microorganismos eficaces en la recuperación de suelos agrícolas degradados en el Distrito de Molino – Provincia de Pachitea – Departamento de Huánuco 2022*” de la Universidad de Huánuco. Buscó demostrar el impacto del compost y microorganismos eficaces en la recuperación de suelos agrícolas degradados en esa localidad. Se empleó una metodología cuantitativa de alcance explicativo y diseño experimental, utilizando el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con 4 bloques, 4 tratamientos (compost, microorganismos eficaces, compost más microorganismos eficaces, y testigo) y 4 repeticiones, totalizando 16 unidades experimentales. Se realizaron 4 aplicaciones cada 20 días durante 80 días de intervención de campo. Para realizar su prueba de hipótesis ejecutó mediante la prueba de ANOVA al 5% de significación entre tratamientos y repeticiones; los cambios pre y post-tratamiento se interpretaron con tablas comparativas. Los resultados que obtuvo en propiedades físicas fueron los siguientes: Observó diferencia significativa en textura (arcilla), donde el tratamiento 3 (compost + microorganismos eficaces) transformó el suelo de franco arcilloso inicial a franco. En propiedades químicas, el pH mostró cambios notables: de 4.6 inicial a 5.4 con tratamiento 1 (compost) y 5.3 con tratamiento 3. Se concluyó que los tratamientos 1 y 3 generaron efectos significativos en las propiedades físico-químicas del suelo degradado, favoreciendo la recuperación de nutrientes esenciales.

Cotrina et al., (2020) en su artículo de investigación con título “*Efecto de abonos orgánicos en suelo agrícola de Purupampa Panao, Perú*” de la Universidad Hermilio Valdizan. demostraron que abonos como bocashi, compost y gallinaza mejoraron las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo mediante la incorporación de nutrientes y regulación del balance hídrico. Se evaluó su impacto en un área de 596,25 m² de suelos degradados. La metodología adoptó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro tratamientos: control (0 kg), bocashi (8.500 kg ha⁻¹), compost (8.500 kg ha⁻¹) y gallinaza

(8.500 kg ha⁻¹), durante enero-diciembre de 2017. Se realizaron cuatro repeticiones, totalizando 16 unidades experimentales. Los resultados mostraron un leve efecto en pH con bocashi (5,69); en materia orgánica (MO), bocashi registró 3,96% y compost 3,85%; nitrógeno (N) mejoró con gallinaza (0,17%); fósforo (P) con gallinaza (7,63 ppm); y potasio (K) con compost (66,19 ppm). Se concluyó que los abonos orgánicos, particularmente gallinaza y bocashi, elevaron significativamente los macronutrientes, especialmente nitrógeno. Por ello, se recomendó el bocashi para suelos ácidos de la zona, al reducir la acidez y optimizar niveles nutricionales.

Huaraca y Pérez (2019) en su tesis con título *“Efecto del humus de lombriz, nutri abonaza y compost en la inmovilidad del cadmio en suelos con plantación del cacao de la Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga, Huánuco”* de la Universidad Peruana Unión. Resume que buscaron estrategias tecnológicas limpias para reducir concentraciones de cadmio en suelos y granos de cacao. Evaluaron el impacto del humus de lombriz (HL), nutri abonaza (NA) y compost (C) en la inmovilidad de este metal. La experimentación se desarrolló entre septiembre de 2018 y febrero de 2019, en un terreno de 2.574 m² con 286 plantas de cacao en Tingo María, Huánuco. Se aplicaron 10 tratamientos con 3 repeticiones: enmiendas puras (T1: 100% NA; T2: 100% HL; T3: 100% C) y mixtas (T4-T9: combinaciones 33%-67%; T10: 33,33% cada una), a dosis de 22,5 kg/planta. Se recolectaron muestras de suelo (30 cm profundidad, 75 cm radio del tronco), granos de cacao y enmiendas para análisis fisicoquímicos (textura, pH, MO, CIC, N total, P, K disponible, Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺, Cd total y disponible), cuantificando cadmio mediante espectrometría de absorción atómica. Los datos se analizaron con Statistics 13.4, usando un diseño simplex-reticular de mezclas de 3 factores. La caracterización reveló altas concentraciones de cadmio en enmiendas y riqueza en materia orgánica. Los resultados mostraron incrementos significativos en pH, MO, N total, Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺ y CIC en todos los tratamientos. Se redujo Cd total en suelo hasta 24,04% (T5), Cd disponible hasta 54% (T8) y Cd en almendras de cacao hasta

73% (T7). Todos los tratamientos, salvo T1, ajustaron Cd total a los ECA para suelos agrícolas. con dosis de 22.5 kg/planta. Se recolectaron muestras de suelo a una profundidad de 30 cm y a un radio de 75 cm del tronco del cacao, muestras de granos de cacao y enmiendas orgánicas que se sometieron a análisis fisicoquímicos seleccionados (textura, pH, MO, CIC, N total, P, K disp., Ca+2, Mg+2, K+, Na+, Cd total y disponible). El cadmio se cuantificó con espectrometría de absorción atómica. La metodología utilizada para el análisis de datos fueron con el programa Statistics 13.4 mediante un diseño experimental de mezclas (diseño simplex reticular) de 3 factores. La caracterización de enmiendas permitió conocer la concentración de cadmio y la riqueza en materia orgánica. Los resultados mostraron que el pH del suelo, MO, N total, Ca+2, Mg+2, K+, Na+ y CIC se incrementaron considerablemente con la adición de enmiendas en los 10 tratamientos; asimismo, una reducción significativa de Cd total en suelos en 24.04% (T5), cadmio disponible en 54% (T8) y en almendras de cacao en 73% (T7). El Cd total en el suelo, en todos los tratamientos, se adecuó al ECA para suelo de uso agrícola, Se concluyó que estas enmiendas orgánicas representaron una alternativa viable y sostenible para inmovilizar cadmio en suelos contaminados, disminuyendo su transferencia a granos de cacao.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. ENMIENDAS ORGÁNICAS

Cuando hablamos de enmiendas orgánicas nos referimos al producto derivado de materiales carbonados de origen vegetal o animal, cuya función principal consistió en mantener o incrementar el contenido de materia orgánica en el suelo, mejorar sus propiedades físicas y potenciar su actividad química y biológica (Londoño, 2017).

2.2.2. ABONOS ORGÁNICOS

Los abonos orgánicos se entienden como cualquier material de origen animal o vegetal destinado a suministrar nutrientes a las plantas y elevar la fertilidad del suelo. En esencia, consistieron en sustancias

elaboradas a partir de residuos o desechos vegetales o animales que optimizaban las condiciones del terreno para el crecimiento vegetal. No obstante, su aplicación no radicó en simplemente mezclarlos con la tierra o esparcirlos superficialmente, ya que una preparación inadecuada podía perjudicar las plantas (Acosta, 2023).

2.2.3. BENEFICIOS DE LOS ABONOS ORGÁNICOS

Los abonos orgánicos se emplearon desde hace mucho tiempo con el propósito de incrementar la fertilidad del suelo y optimizar sus propiedades para favorecer el desarrollo adecuado de los cultivos. En la actualidad, su aplicación adquirió gran relevancia, ya que se demostró su eficacia para elevar el rendimiento y mejorar la calidad de los productos agrícolas. Desafortunadamente, bajo ciertos sistemas de manejo, los suelos agrícolas experimentaron una pérdida gradual de materia orgánica, lo que se manifestó en una disminución progresiva del rendimiento a lo largo de los ciclos de cultivo. La adición de materiales orgánicos capaces de aportar materia orgánica generó respuestas extraordinarias en el rendimiento, alcanzando en algunos casos hasta diez veces los valores iniciales. El estiércol se presentó como una alternativa excepcional a los fertilizantes orgánicos debido a su elevado contenido nutricional. Sin embargo, su almacenamiento requirió un procedimiento adecuado para prevenir la pérdida de nutrientes, especialmente nitrógeno por lixiviación o evaporación. En explotaciones ganaderas extensas, la producción de estiércol demandó condiciones controladas; de lo contrario, la anaerobiosis generó metano y otros gases malolientes, junto con la proliferación de organismos potencialmente patógenos para humanos y plantas. Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura (INTAGRI, 2016).

Los fertilizantes orgánicos podían brindar los siguientes beneficios a un cultivo:

- Aportan algunos o la mayoría de los elementos esenciales para las plantas, según el tipo de abono empleado. Predominaron en

residuos orgánicos en comparación con los fertilizantes inorgánicos.

- Se caracterizaron por liberar nutrientes de manera gradual, lo que aseguró un suministro constante para el cultivo durante su desarrollo. Además, mejoraron la estructura del suelo, su porosidad, aireación y capacidad de retención de agua.
- Poseen la capacidad de formar complejos orgánicos con los nutrientes, incrementando así una mayor disponibilidad para las plantas.
- La materia orgánica tuvo una mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC) que las arcillas, por lo que la incorporación de abonos orgánicos incrementó esta capacidad en el suelo.
- Esto es muy ventajoso en suelos con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), como los suelos arenosos.
- Liberan bióxido de carbono (CO_2) durante su descomposición que forma ácido carbónico (H_2CO_3) el cual solubiliza nutrimentos de otras fuentes.
- Son fuente de carbono orgánico para la actividad de organismos heterótrofos presentes en el suelo.
- Aumentan la infiltración del agua, reduciendo el escurrimiento superficial.
- Favorecen una mayor estabilidad de agregados del suelo.
- confieren al suelo una mayor capacidad productiva, conservación de su fertilidad en el tiempo y ser sostenibles con el paso de los ciclos productivos.

2.2.4. BOCASHI

Es un abono orgánico empleado tradicionalmente por agricultores japoneses durante años como mejorador del suelo. Este incrementó la diversidad microbiana, optimizó las condiciones físicas y químicas del

terreno, previno enfermedades edáficas y suministró nutrientes esenciales para el desarrollo de los cultivos (Sarmiento et al., 2019).

Según Sepúlveda y Céspedes (2017) indicaron que el Bocashi se obtuvo mediante la descomposición de restos vegetales y animales en presencia de aire, utilizando materiales aceleradores del proceso. Esta fermentación proporcionó nutrientes esenciales que estimularon el crecimiento y desarrollo de las plantas. Al igual que el compost, generó un efecto progresivo y acumulativo que elevó gradualmente la fertilidad y vida del suelo, optimizando la humedad, la salud vegetal y la producción.

Como parte de la tradición japonesa, incorporó insumos como sémola de arroz y torta de soya como materia orgánica principal, junto con inóculos benéficos como harina de pescado y suelo de bosque para agilizar la fermentación. Existen diversas modalidades de producción de bocashi, que variaron en tiempo de fermentación e inóculos empleados. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA, 2022, pág. 40).

Entre las ventajas de esta enmienda fermentada, se listan las siguientes:

- **Bocashi tradicional:** Se utilizó suelo de bosque o montaña para incorporar microorganismos benéficos, junto con materia orgánica como torta de soya y sémola de arroz. Bajo condiciones aeróbicas, el proceso de fermentación se extendió por aproximadamente seis semanas.
- **Bocashi EM:** Incorporó microorganismos eficientes (EM), una solución que albergaba grupos microbianos aeróbicos y anaeróbicos, tales como actinomicetos, bacterias lácticas y fotosintéticas, levaduras y hongos. Además, aportó nutrientes y materia orgánica tanto al suelo como a las plantas.
- **Baiyodo:** El tiempo de fermentación del Baiyodo superó al del bocashi tradicional. Se distinguió por requerir grandes volúmenes de suelo de bosque o montaña, sémola de arroz, harina de hueso

y gallinaza. Su producción se extendió de seis a doce semanas bajo bajas temperaturas, mediante volteos regulares y temperaturas inferiores a 50 °C, hasta que la actividad microbiana disminuyó por la reducción de humedad.

Ventajas de esta enmienda fermentada:

- Alta porosidad y capacidad de retención de agua.
- Evita la formación de gases tóxicos y malos olores.
- Manejo y almacenamiento sencillo, puesto que se puede elaborar a diferentes escalas.
- Adaptable a diversas condiciones climáticas.
- Los microorganismos benéficos combaten con los patógenos por el espacio y la energía disponible en la zona de la raíz.
- Se produce en corto tiempo y a bajo costo.
- Se forman fitohormonas y fitorreguladores naturales, tales como auxinas, giberelinas, estrigolactonas, etc.
- Las formulaciones resultaron adaptables a diversas condiciones climáticas y actividades agropecuarias.
- Los nutrientes se proporcionan en forma soluble y a un pH favorable (6.5 a 7) para la absorción radicular.
- La relación entre los nutrientes es equilibrada y puede ser modificada de acuerdo a los insumos empleados en su elaboración.

Insumos utilizados en la elaboración de bocashi

- **Animal:** Mezclas de deposiciones (bovinaza, gallinaza, porquinaza) Estiércol de vacuno, cuy, cabra Harina de sangre, plumas, hueso, pescado.

- **Vegetal:** Carbón vegetal, ceniza vegetal, afrecho o salvado de cebada o trigo, cáscara de grano de quinua, cáscara de café, cacao, residuo de cosecha, raquis o eje de banano.
- **Mineral:** Harina de roca, mieles (caña de azúcar, melaza), suelo de bosque o montaña.

2.2.5. BIOCHAR

Se obtiene mediante el calentamiento de biomasa en ausencia o con aire limitado a temperaturas superiores a 250 °C, mediante un proceso denominado carbonización o pirólisis el mismo empleado para producir carbón vegetal. Sin embargo, este material se distinguió del carbón vegetal y otros productos carbonados por su propósito específico: su aplicación al suelo o, en términos más amplios, la gestión ambiental. Aunque en ciertos casos las propiedades del biochar se superpusieron con las del carbón vegetal como fuente energética, muchos tipos de biochar no ardían fácilmente, y el carbón vegetal rara vez se diseñaba para resolver problemas edáficos (Lehmann & Joseph, 2015).

A lo que Garcia et al. (2014) lo denominó acondicionador de suelos, dado que se emplearon diversas materias primas para su producción de biochar: Madera, residuos de cultivos, estiércol y otros. La idoneidad de cada material dependió de sus propiedades químicas, físicas y ambientales, además de factores económicos y logísticos.

Elaboración de biochar

El proceso posee tres fases; la primera de elaboración que incluyó cinco pasos hasta la obtención del carboncillo. La segunda de procesamiento y enriquecimiento del carboncillo; también abarcó cinco pasos, y la tercera, de aplicación, tanto en forma líquida como sólida (Pentón et al., 2021).

- **Fase I. Elaboración**

- a) Se excavó en el suelo un cono con una inclinación de 63°, un diámetro de 1,50m y una altura de 1m.
- b) Las ramas de la biomasa leñosa deben cortarse en longitudes de 60-70 cm, con un diámetro máximo de 5-7 cm.
- c) En la parte de la base del cono se colocan las partes más gruesas de la biomasa, disponiendo las pilas unidas y en forma cruzada para facilitar la penetración del aire. Posteriormente, se llena hasta la cuarta parte del hueco con biomasa.
- d) Se coloca hierba seca sobre las ramas y se enciende el fuego. Una vez que arde intensamente, se alimenta progresivamente hasta alcanzar una altura de 1,30 m.
- e) El proceso se da por concluido cuando los carbones adquieren un color blanco o cenizo.

- **Fase II. Procesamiento**

- a) Veinte minutos antes de finalizar el quemado, se comienza a rociar agua con una manguera.
- b) Se sumerge en agua durante 24 horas, luego se retira y se coloca a la sombra para que escurra.
- c) A las 72 horas, se tritura y está listo para enriquecerlo con un nutriente.
- d) Si el nutriente es líquido (microorganismos, lactofermentos o estiércol de vaca) se embebe durante 24 horas y se aplica de inmediato.
- e) En el caso de emplearlo con sólidos se mezcla en una proporción de 25-75 % biochar-compost, tierra o abonos.

- **Fase III. Utilización y aplicación**

- a) En líquidos. En la actualidad los mejores resultados se obtienen con la aplicación inmediata cuando se sumerge el carboncillo en una cantidad de microorganismos nativos.

b) En sólido. Se refiere a la mezcla del biochar con sustratos nutritivos orgánicos; por ejemplo: Compost, humus, excreta animal, en proporción 25 – 75 %. El bioabono obtenido se aplica a razón de 6 a 10 t/ha/año, según las características del suelo y las exigencias de los cultivos.

2.2.6. COMPOST

La elaboración del compost consiste en un proceso de descomposición aeróbica, con presencia de oxígeno, de residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal. Este proceso es mediado por microorganismos descomponedores presentes en dichos residuos, bajo condiciones controladas, lo que genera un producto inocuo y sin efectos fitotóxicos.

La importancia principal del compost radica en que actúa como fuente de microorganismos esenciales para el suelo, facilitando una nutrición más eficiente de las plantas y promoviendo el óptimo desarrollo de los cultivos (INIA, 2022, pág. 13).

Entre las ventajas que destacan, se pueden mencionar:

- Disminuye la utilización de fertilizantes sintéticos.
- Inversión de bajo costo.
- Aumenta la cantidad de materia orgánica.
- Mejora la estructura del suelo.
- Aumenta la capacidad de retención de agua y nutrientes.
- Suministra de forma natural los elementos minerales esenciales para las plantas.
- Promueve y mejora el desarrollo de la actividad biológica en el suelo.

2.2.7. DIGESTADOS (BIOLES O BIOSOLES)

Los digestados representan el residuo de sólidos y líquidos que se acumulan en la cámara de digestión tras la degradación anaeróbica de la materia orgánica en un digestor. Según su contenido de materia seca, se clasifican en líquidos o sólidos. Frecuentemente, los digestados líquidos se denominan bio-líquidos o bioles, mientras que los sólidos se conocen como bio-sólidos o biosoles (INIA, 2022).

La aplicación de digestados en las parcelas puede mejorar la salud del suelo. Entre los beneficios de esta práctica se incluyen:

- Aumento en el contenido de materia orgánica.
- Disminución en la necesidad de aplicar fertilizantes químicos y pesticidas.
- Mejora el crecimiento de las plantas.
- Disminuye la erosión de los suelos.
- Disminuye la pérdida de nutrientes por escorrentía.
- Disminuye la compactación de suelos.
- Aumenta la capacidad de retención de agua del suelo
- Generación de energía en forma de metano.
- Estabilización y disminución de los residuos orgánicos.
- Disminuye olores.
- Disminución de patógenos.
- Recuperación de nutrientes.
- Disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (si se utiliza el biogás para generar energía).

2.2.8. CALIDAD DE SUELO

Un suelo fértil y sano suministra a las plantas los nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo. Sus características físicas, como la estructura y los agregados, permiten que el agua y el oxígeno lleguen a las raíces. Además, los suelos se describen como sanos o de calidad cuando tienen la capacidad de sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire, y preservar la salud y el hábitat humano (Stevens, 2023).

2.2.9. SUELOS

Según FAO (2017) indica que el suelo está formado por minerales, materia orgánica, pequeños organismos vegetales y animales, aire y agua. Se trata de una capa delgada que se ha generado lentamente a lo largo de siglos, a medida que las rocas superficiales se fragmentan por acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Las plantas y animales que crecen y mueren en el suelo y su superficie son descompuestos por microorganismos, transformándose en materia orgánica que se integra al suelo.

2.2.10. COMPOSICIÓN DEL SUELO

Según Madrid (2021) señala que los suelos están formados por cuatro componentes principales:

- Minerales de diversos tamaños, la mayoría son minerales o componentes inorgánicos, cuya participación es del 40 - 50% del volumen total del suelo. Estos minerales provienen de la descomposición (por erosión o meteorización in situ) de rocas preexistentes o rocas madre, como las ígneas, sedimentarias y metamórficas. La fracción sólida del suelo está formada por estas partes minerales y rocosas, que incluyen partículas de tamaños equivalentes a grava, arena, limo y arcilla.
- Materia orgánica, constituye el componente orgánico del suelo, formado por organismos vivos (como microorganismos y plantas) y muertos (restos vegetales, microorganismos fallecidos,

excrementos animales, etc.), que representan cerca del 5% del volumen total del suelo. Un suelo con alto contenido de materia orgánica posee gran capacidad para retener agua y nutrientes esenciales, lo que lo hace ideal para el cultivo.

- Agua, estos se almacenan en los espacios entre las partículas (poros) que forman el suelo, su participación en el volumen total del suelo es de 20 – 30 %, y su importancia radica en un gran transporte de nutrientes básicos para la vida del suelo, estos facilitan la descomposición biológica – química. La cantidad de agua retenida en el suelo varía según el tipo predominante, siendo mayor en suelos arcillosos y menor en aquellos de grava o arena.
- Aire, son otro componente principal del suelo, ocupando los espacios entre las partículas sólidas (porosidad) y representando generalmente entre el 20 y el 30% del volumen total. El oxígeno presente es fundamental para la respiración de las raíces y los microorganismos, contribuyendo al crecimiento de las plantas.

2.2.11. SUELOS DEGRADADOS

Sánchez (2013) nos dice que la degradación del suelo se entiende como la pérdida de equilibrio en sus propiedades, lo que reduce su productividad. Esta se manifiesta en aspectos físicos (erosión), químicos (déficit de nutrientes, acidez, salinidad, entre otros) y biológicos (falta de materia orgánica).

2.2.12. ANÁLISIS DE SUELO

Los análisis del suelo permiten conocer sus características y los nutrientes disponibles para el cultivo. Aunque pueden ser muy completos e incluir numerosos parámetros, su costo hace necesario priorizar qué aspectos evaluar y con qué frecuencia (Calvo, 2017).

2.2.13. TRATAMIENTO DE SUELOS

Conjunto de procedimientos que, a través de la contención, eliminación o destrucción de sustancias contaminantes, permiten

recuperar total o parcialmente las funciones del suelo (*Tratamiento de Suelos - EcuRed, 2023*).

2.2.14. PROPIEDADES DEL SUELO

Propiedades Físicas

Las propiedades físicas del suelo provienen de la acción conjunta de los factores de formación. La simple observación de cualquier suelo revela que está compuesto por partículas sólidas de diferentes tamaños, donde ocurren todos los procesos hidrogaseosos. En estos se pueden identificar cambios cualitativos y cuantitativos de gran relevancia, que generan transformaciones de diversa importancia en toda la actividad biológica del suelo (Gines, 2013).

- **Textura:** Se define como la proporción (en porcentaje de peso) de partículas menores a 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) presentes en sus horizontes. En edafología, las partículas se clasifican en elementos gruesos (diámetro superior a 2 mm) y finos (diámetro inferior a 2 mm), siendo estos últimos los que determinan la textura del suelo (Blanquer et al. 2010).
 - a) **Textura arcillosa:** Son suelos plásticos y difíciles de trabajar. Almacenan grandes cantidades de agua y nutrientes, aunque presentan baja permeabilidad a menos que estén bien estructurados y cuenten con un buen sistema de grietas. (Blanquer et al., 2010).
 - b) **Textura arenosa:** El suelo se considera ligero por su baja plasticidad y facilidad de manejo, con excelente aireación gracias a sus partículas dominantes de gran tamaño que favorecen la penetración del aire. Solo en lluvias intensas se producen encharcamientos o escorrentía, mientras que la acumulación de materia orgánica es mínima y el lavado de elementos minerales es elevado (Blanquer et al., 2010).

- c) **Textura limosa:** Carecen de propiedades coloidales que forman estructura, lo que genera un suelo fácilmente pegajoso que dificulta la aireación y la circulación del agua. Esto facilita la formación de costras superficiales que impiden la emergencia de plántulas (Blanquer et al. 2010).
- d) **Texturas Francas o equilibradas:** Al presentar un mayor equilibrio entre sus componentes, aprovechan los efectos positivos de los anteriores sin padecer sus inconvenientes; el estado ideal sería la textura franca, y a medida que nos alejamos de ella, surgen los problemas asociados (Blanquer et al., 2010).
- **Color:** Depende de sus componentes y varía según el contenido de humedad, materia orgánica y grado de oxidación de los minerales presentes. Permite distinguir perfiles del suelo, determinar el origen de la materia parental, detectar la presencia de materia orgánica, evaluar el estado de drenaje y la existencia de sales y carbonatos (FAO, 2018b).
 - **Consistencia:** Propiedad que define la resistencia del suelo a la deformación o ruptura que se le pueda aplicar. Dependiendo de su contenido de humedad, la consistencia del suelo puede clasificarse como dura, muy dura o suave (FAO, 2018b).
 - **Porosidad:** Mercedes y Ortega (2022) señalan que la porosidad está afectada por su textura y estructura. Representa fundamentalmente la capacidad del suelo para retener agua, compitiendo por ese espacio con la fase gaseosa (oxígeno, CO₂ y otros).
 - **Densidad:** Existen dos tipos de densidad: Real y aparente. La densidad real de las partículas sólidas del suelo varía según la proporción de sus elementos y suele ser de 2,65. Alta densidad aparente y baja densidad aparente. Donde la

alta significa un suelo con alta concentración de partículas mientras que la baja no es favorable para el crecimiento de plantas (Huaman et al. 2022).

- **Disponibilidad de agua en el suelo:** La textura del suelo influye en la cantidad de agua que retiene un suelo drenado hasta alcanzar la capacidad de campo, así como en la porción disponible para las plantas. Cuando un campo está encharcado, el agua desplaza el aire del suelo, proceso conocido como capacidad de campo, donde se puede analizar qué capacidad tiene el suelo para retener el agua (FAO, 2018b).

Propiedades Químicas

El suelo es un sistema vivo y dinámico en el que los iones y moléculas se desplazan constantemente entre fases al interactuar entre sí. Sus propiedades químicas dependen de las concentraciones y proporciones de especies disueltas en el agua subterránea o en el complejo de intercambio iónico. Propiedades como la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el pH, el potencial redox (Eh o pe) y la conductividad eléctrica (CE) son clave, ya que influyen en la disponibilidad de nutrientes, el crecimiento vegetal, el destino de contaminantes y la actividad biológica, etc. (Kumaragamage et al. 2022).

- **pH del Suelo:** Es un indicador del grado de acidez o alcalinidad de un suelo y se mide en unidades de pH. Este factor influye notablemente en el desarrollo de las plantas. En la escala de 0 a 14, un pH de 7 es neutral, mientras que valores inferiores a siete indican acidez, y cualquier pH mayor que siete es alcalino o básico. El valor de pH ideal para vegetales de jardín está entre 6.0 y 6.8, aunque algunos vegetales demandan un suelo más ácido (Rines, 2022).

- **Conductividad eléctrica:** Es la habilidad que un material tiene de transmitir o conducir una corriente eléctrica. La conductividad eléctrica del suelo mide de forma indirecta la concentración de sales presentes. Aunque el suelo contiene naturalmente sales disueltas, su conductividad puede ser muy baja, pero nunca nula. Las sales benefician a los organismos que las absorben disueltas en agua, pero en exceso perjudican el crecimiento de las plantas y la actividad de los microorganismos del suelo (Cremona y Enriquez, 2020).
- **Densidad aparente:** La densidad aparente describe la masa de partículas de suelo seco por unidad de volumen (g/cm^3 o t/m^3) y evalúa la compactación del suelo, que refleja la proporción de sólidos en relación con los poros. La densidad aparente varía según la estructura del suelo y el contenido de materia orgánica. Uno de los métodos para determinarla consiste en tomar un volumen conocido de suelo, secarlo para eliminar el agua y pesar la masa seca (FAO, 2021).
- **Materia orgánica:** El suelo se compone de materiales minerales y orgánicos, cuya estrecha asociación e interacción se crean mediante espacios en los agregados del suelo a través de los cuales circulan el aire y el agua y forman un entorno de apoyo y nutritivo para las plantas. La materia orgánica del suelo se define generalmente como una mezcla de compuestos orgánicos que contienen carbono (C), hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, fósforo y/o azufre, originados por la descomposición de los residuos orgánicos del suelo (Hepp, 2017).
- **Nitrógeno (N):** Es un componente esencial de todas las estructuras vivas, como proteínas, ADN, ARN, hormonas, enzimas y vitaminas. Se encuentra tanto en forma orgánica como inorgánica, y en diversos estados de oxidación. Las plantas requieren compuestos de mayor disponibilidad química, como el amonio (NH_4) y el nitrato (NO_3), mientras que los animales

necesitan formas complejas como aminoácidos y ácidos nucleicos (Eugenio et al., 2019).

- **Fosforo (P):** El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento vegetal, con un rol clave en la fotosíntesis, el transporte de nutrientes y la transmisión de energía. Se encuentra en estado mineral y también en compuestos orgánicos fosforados con lípidos. Es necesario suplementarlo adecuadamente en los cultivos, ya que promueve el desarrollo de las plantas y su reproducción óptima, permitiendo un crecimiento vigoroso y una maduración más temprana en comparación con plantas deficientes (Álvaro, 2019).
- **Potasio (K):** Es un macronutriente importante para las plantas que requieren este nutriente en grandes cantidades, en algunos casos incluso similares a los requerimientos de nitrógeno. Actúa sobre más de 60 enzimas involucradas en diversos procesos metabólicos, destacando la fotosíntesis y la síntesis de proteínas y carbohidratos. En la práctica, el potasio favorece el crecimiento vegetativo, la fertilidad, la maduración y la calidad de las frutas (INTAGRI, 2019).
- **Capacidad de intercambio Catiónico:** La capacidad de intercambio catiónico (CIC) mide la habilidad del suelo para retener cationes, es decir, elementos con carga positiva. Los ejemplos de cationes son potasio, calcio, magnesio, amonio, hidrógeno, y sodio. Una CIC más alta indica que el suelo puede contener más cationes. La capacidad de intercambio de cationes depende de diversos factores, como la cantidad y tipo de arcilla y materia orgánica presentes en el suelo. Tanto la arcilla como la materia orgánica poseen carga negativa, lo que les permite retener cationes. En general, los suelos con más arcilla o materia orgánica tienen más cargas negativas y una CIC más alta que los que tienen menos (Sánchez & Ford, 2023).

Propiedades Biológicas

La biología del suelo es fundamental en su composición y características, ya que sus organismos descomponen la materia orgánica proveniente de restos vegetales y animales, liberando nutrientes esenciales.

Los microorganismos mantienen la estructura del suelo, las lombrices lo remueven activamente, y las bacterias desempeñan un rol crucial en el ciclo del nitrógeno a través de diversos procesos (FAO, 2018):

- **Mineralización:** Cuando una planta o animal muere, o un animal excreta nitrógeno, este se encuentra en forma orgánica. Las bacterias, o en algunos casos hongos, convierten el nitrógeno orgánico de los restos en amonio mediante un proceso llamado mineralización o amonificación (FAO, 2018).
- **Nitrificación:** Es un proceso que consta de tres etapas. En la primera, las bacterias convierten el nitrógeno en amonio (NH_4^+), forma absorbible por las raíces de las plantas. En la segunda, el amonio se oxida para formar nitrito (NO_2). En la tercera, mediante oxidación adicional, se genera nitrato (NO_3), (FAO, 2018).
- **Fijación de nitrógeno:** Ocurre mediante bacterias del suelo o algas que fijan el nitrógeno atmosférico, lo incorporan a su organismo y lo depositan en el suelo al morir (FAO, 2018).
- **Desnitrificación:** Devuelve el nitrógeno a la atmósfera mediante un proceso en el que bacterias anaeróbicas convierten nitratos y nitritos en óxido nitroso (N_2O) o nitrógeno molecular (N_2), (FAO, 2018).

2.2.15. DEGRADACIÓN DE SUELO

La degradación del suelo resulta directamente de las actividades humanas, tanto directas (agricultura, silvicultura, ganadería,

agroquímicos y riego) como indirectas (industria, eliminación de residuos, transporte, etc.). Además, los suelos degradados pierden su capacidad para ofrecer los bienes y servicios típicos de un suelo sano, lo que genera problemas a escala global (Giner & Vivas, 2020).

2.2.16. RECUPERACIÓN DE SUELOS

La recuperación y remediación del suelo forman parte del proceso de restauración de tierras en paisajes alterados por disturbios ecosistémicos. Consiste en transformar tierras dañadas o perturbadas hacia sus usos previos u otros productivos. Este proceso abarca todos los componentes afectados del ecosistema, como suelos, hidrología, flora y fauna, entre otros (Naeth et al. 2022).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Remediación**

Busca restaurar el entorno natural a un estado no perjudicial para humanos, animales o plantas. Se logra eliminando contaminantes y sustancias tóxicas del suelo, aire, agua y corrientes de desechos mediante diversas técnicas para limpiar sitios afectados. Estas incluyen remoción física por excavación o incineración, tratamientos químicos del suelo y agua, procesos biológicos con microorganismos como bacterias o hongos, y métodos mecánicos con equipos como aspiradoras (Perucontable, 2022).

- **Restauración**

Es el Proceso de asistir en la recuperación de áreas, ecosistemas o paisajes degradados, dañados o destruidos, con el fin de recuperar su trayectoria ecológica, fortalecer su resiliencia, preservar la diversidad biológica y devolver la funcionalidad a los ecosistemas y paisajes. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2018).

- **Enmienda agrícola**

Es un producto o combinación de varios que corrige o mejora una condición física, química o biológica identificada en el suelo, elevando así su calidad general. Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes (AEFA, 2023).

- **Suelo**

Los suelos forman una capa delgada sobre la superficie terrestre, con espesores que van desde unos pocos centímetros hasta varios metros. Permiten el anclaje de las raíces de las plantas, facilitando su acceso al agua, oxígeno y nutrientes. A través del suelo y la radiación solar, las plantas realizan la fotosíntesis para producir alimentos, forrajes, fibras, masas forestales y energías renovables. Constituyen la base de todos los ecosistemas terrestres, haciendo posible la vida en el planeta (Lopez et al. 2014, p. 22).

- **Suelo de calidad**

Es la habilidad de un tipo específico de suelo para operar, en los límites de ecosistemas naturales o gestionados, manteniendo la productividad de plantas y animales, preservando o mejorando la calidad del agua y el aire, y apoyando la salud humana junto con sus hábitats (Karlent et al. 1997).

- **Suelo contaminado**

El término contaminación del suelo alude a la presencia de un químico o sustancia en un lugar inadecuado o en concentraciones superiores a lo normal, generando efectos perjudiciales en organismos no destinados a interactuar con ellos. Aunque la mayoría de los contaminantes provienen de actividades humanas, algunos pueden aparecer de forma natural en los suelos como parte de minerales y volverse tóxicos a altas concentraciones (Eugenio et al. 2019, p. 01).

- **Degradación de suelo**

La degradación del suelo ocurre cuando este pierde propiedades clave en un lugar específico, reduciendo su capacidad para ofrecer servicios ecosistémicos y otros beneficios. Representa una de las problemáticas ambientales más graves y extendidas globalmente. Casi todos los suelos del mundo han experimentado cambios por acciones humanas, lo que ha mermado su calidad y su habilidad para servir tanto a los ecosistemas como a las personas (Novillo, 2019, p. 01).

- **Abono Orgánico**

El abono orgánico es un material derivado de la descomposición natural de desechos vegetales o animales. Al degradarse, estos residuos mineralizan el suelo y mejoran sus propiedades. Así, se potencian las características físicas, biológicas y químicas de la tierra, generando un suelo más saludable y rico en nutrientes para futuras cosechas (Guardado, 2022).

- **Pesticida**

Un pesticida es cualquier sustancia o mezcla destinada a prevenir, destruir, repeler o controlar plagas. Utilizado en agricultura contra malezas, insectos y enfermedades. Existen diversos tipos, cada uno dirigido a plagas específicas. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2019).

- **Microorganismos eficientes**

Se entiende que los microorganismos eficientes son el producto y la biotecnología desarrollados por el agrónomo japonés Teruo Higa en Okinawa Japón en los años 70. Con el objetivo de reemplazar los fertilizantes y plaguicidas sintéticos, para mejorar la nutrición de las plantas y el control ante distintas plagas y enfermedades. Estos microorganismos son las bacterias fotosintéticas, bacterias lácticas, las levaduras y otros microorganismos beneficiosos que existen de forma natural en medio ambiente (Pizard, 2022, p. 42).

- **Bocashi**

El Bocashi es un biofertilizante cuyo nombre japonés significa "fermentación". Consiste en un abono orgánico parcialmente fermentado, estable, fácil y económico de preparar, cuyo costo varía según los materiales disponibles o su propósito. Puede considerarse una enmienda, no solo por mejorar la nutrición de los cultivos, sino también por sus beneficios en las propiedades físicas del suelo (Coto, 2022, p. 543).

- **Biochar**

Material carbonizado derivado de biomasa rica en carbono, pirolizado en condiciones de oxígeno nulo o mínimo mediante procesos sostenibles (García et al. 2014).

2.4. HIPÓTESIS

H1: Las enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) tienen efecto en la mejora de calidad del suelo degradado por pesticidas, Huánuco.

H0: Las enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) no tienen efecto en la mejora de calidad del suelo degradado por pesticidas, Huánuco.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Enmiendas orgánicas bocashi y biochar.

2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- Calidad de suelo degradado por pesticidas.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TÍTULO: “Efecto de enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en la mejora de calidad del suelo degradado por pesticidas, Huánuco - 2025”

| VARIABLES | DIMENSIONES | INDICADORES | UNIDAD DE MEDIDA | TIPO DE VARIABLE |
|--|------------------------|---|--|-----------------------|
| INDEPENDIENTE Enmiendas orgánicas bocashi y biochar | Bocashi Biochar | Dosis Tiempo | mg hora | Cualitativa |
| DEPENDIENTE Calidad de suelo degradado por pesticidas | Propiedades químicas | pH Conductividad Materia orgánica CIC Nitrógeno Potasio Fosforo | pH metro mS/cm Kg meq/100 gr g g g | Cuantitativa continua |
| | Propiedades biológicas | Microorganismos | Cromatografía | Cualitativa |

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue es de tipo experimental puesto que se administró de manera intencional estímulos (bocashi y biochar) sobre el suelo y se hizo una comparación de resultados (Hernández y Mendoza, 2018).

3.1.1. ENFOQUE

El estudio presentó una orientación cuantitativo dado que tuvo una hipótesis preestablecida y para las mediciones de los comportamientos de los datos se hizo uso de la estadística puesto que el comportamiento de los datos de indicadores en el suelo se mostró en números (Hernández y Mendoza, 2018).

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El estudio adoptó un nivel explicativo, al considerar dos variables y evaluar los sucesos que tuvo una variable sobre otra, es decir el estímulo (bocashi y biochar sobre el suelo) (Hernández y Mendoza, 2018).

3.1.3. DISEÑO

El estudio presentó un diseño experimental con dos grupos operacionales, partiendo de la misma pre muestra para ambos grupos, para finalmente obtener varias post muestras dentro de estos dos grupos (Hernández y Mendoza, 2018). Para lo cual se presentó el siguiente diseño factorial:

A GE1 = PR 1 - X1 – PM 1

GE2 = PR 1 - X2 – PM 2

Donde:

A = Al azar.

GE₁ = Grupo experimental número 1.

GE₂ = Grupo experimental número 2.

PR₁ = Pre muestra número 1.

X_1 = Tratamiento Experimental número 1.

X_2 = Tratamiento Experimental número 2.

PM_1 = Pos muestra número 1.

PM_2 = Pos muestra número 2.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Para la población de la investigación se consideró los terrenos agrícolas de la localidad de Colpa Baja - Huánuco.

3.2.2. MUESTRA

La muestra en la investigación correspondió a un área de 40 m², en el cual se dividió en 2 parcelas, donde se añadió bocashi y biochar, lo cual se tomó con la técnica de muestreo simple de un área rectangular con cinco (5) puntos de muestreo.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica empleada es observacional, para la recolección de datos se usó instrumentos que ayudaron a cuantificar los datos. Se realizó el análisis para determinar el contenido mediante muestras, antes y después de la ejecución del proyecto.

- **Procedimiento**

Se tuvo un tiempo de ejecución de 3.5 meses, en donde se realizaron diferentes actividades como:

- **Muestreo de suelo degradado por pesticida**

Primitivamente a la ejecución del proyecto se realizará un muestreo del suelo del área donde estamos interviniendo para saber el estado actual del suelo, basándonos según la guía para muestreo de suelos.

– **Área de muestreo**

Se delimitó el lugar designado para la toma de la muestra, georreferenciado en coordenadas UTM según la guía de muestreo de suelos.

– **Puntos de muestreo**

Los puntos de muestreo se determinaron en base a las necesidades del proyecto, por lo general la guía recomienda hacerlo en forma de rejillas.

– **Muestreo**

Se tomó la muestra del área de estudio, especificado para suelo agrícola, que son de 0.30 cm, para luego depositar la muestra en un recipiente y ser acopiado, procediendo a seleccionar la muestra de 250 a 500 gr para ser trasladar al laboratorio.

– **Materiales**

Se emplearon las siguientes herramientas:

Tabla 1

Equipos de protección

| Equipos de protección personal | |
|---------------------------------------|--|
| Indumentaria | Casco Barbiquejo Lentes de seguridad Guantes Guardapolvo Zapatos de seguridad Botas de seguridad |

Nota. Se menciona los EPPs a utilizar.

Tabla 2*Equipos y materiales*

| Equipos y materiales | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Equipos y materiales que se usará | GPS |
| | Malla de acero |
| | Bolsa hermética |
| | Pico |
| | Pala |
| | Balanza |
| | Cámara fotográfica |
| | Papel de cromatografía |
| | Lapicero o plumón (indeleble) |
| | Cinta para rotular |

Nota. Mención de los Equipos a utilizar.

Tabla 3*Formatos y registros de campo*

| Formatos | |
|-----------------|---|
| Registro | Cadena de custodia Hoja de campo Cuaderno de apuntes Etiquetas |

Nota. Mención de los registros a utilizar.

– **Preparación del terreno**

Para iniciar la ejecución del proyecto, se realizó una jornada de limpieza al terreno, donde se adecuó el lugar quitando el material arbustivo y nivelando el área, luego de esta actividad se procedió a la remoción y volteado del suelo para su preparación y posteriormente su utilización.

– **Instalación del Proyecto**

Luego del acondicionamiento del área a trabajar, se instaló el proyecto de acuerdo a como indica el diseño y el croquis, la cual estuvo distribuida por 6 parcelas de igual dimensión, la cual tuvo accesos de 0.50 m para no perjudicar con las pisadas el área de trabajo, limpiando el área continuamente para mantenerlo ordenado y tener un mejor resultado.

– Preparación de bocashi y biochar

Para la elaboración de bocashi se utilizó cascara de arroz, estiércol de cuy, residuos vegetales, levadura, tierra negra, agua, melaza, yogurt. Se mezcló todos estos insumos buscando una homogenización, luego se removió en los primeros 3 días de 2 a 3 veces al día, luego se pasó a remover 1 vez al día, haciendo este proceso por 15 días en donde el bocashi estuvo listo para su aplicación.

Para la elaboración de biochar se utilizó ramas secas y hojas de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y un bidón de aluminio. Se acondicionó el bidón en la tierra, tapando la parte inferior para que no entre oxígeno y la temperatura aumente al momento de prender la materia. Luego se añadió las ramas secas dentro del bidón para prenderlas con fuego y hacer el proceso de carbonización, no dejando que el fuego se apague hasta que termine el proceso, luego se echó agua que generó un choque térmico y el material quedó cristalizado.

– Aplicación de Enmiendas

Se aplicó bocashi y biochar al suelo inicial de acuerdo al diseño del proyecto, el GE1 tuvo como bio estimulador solo bocashi en iguales cantidades de donde se tomó 5 post muestras, el GE2 tuvo como bio estimulador solo biochar en cantidades iguales de donde también se tomó 5 post muestras en 60 días.

Tabla 4

Proporción de la aplicación de las enmiendas

| Tipo de enmienda | R 1 | R 2 | R 3 | R 4 | R 5 |
|-------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Bocashi | 1500 gr | 1500 gr | 1500 gr | 1500 gr | 1500 gr |
| Biochar | 1500 gr | 1500 gr | 1500 gr | 1500 gr | 1500 gr |

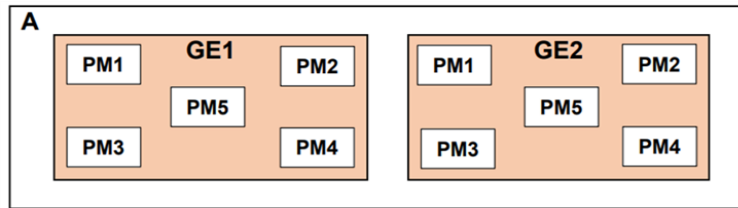
Nota. Los tratamientos se evaluaron en una misma línea de tiempo de 60 días para ambos tipos de enmiendas con dosis iguales. R indica el número de replicas.

– **Muestreo de suelo**

Se tomó una muestra inicial del suelo, para luego conforme avanzó el proyecto tomar muestras de los diferentes posts muestras hasta llegar a la parte final del proyecto y poder analizar si hubo un efecto con la mejora de suelo comparando el inicio y el final de los resultados.

Figura 1

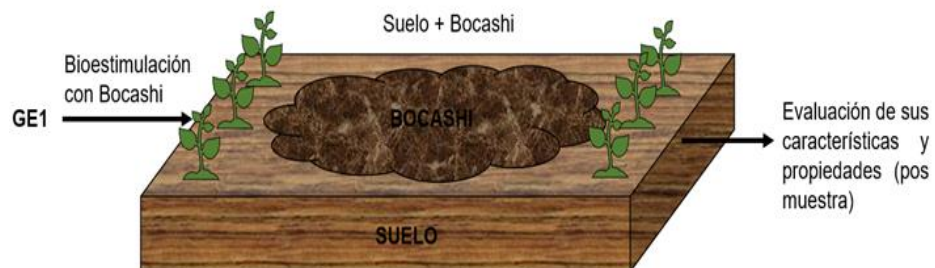
Matriz experimental



Nota. En la figura se muestra la cantidad de post muestras que se tomaron por cada Grupo experimental.

Figura 2

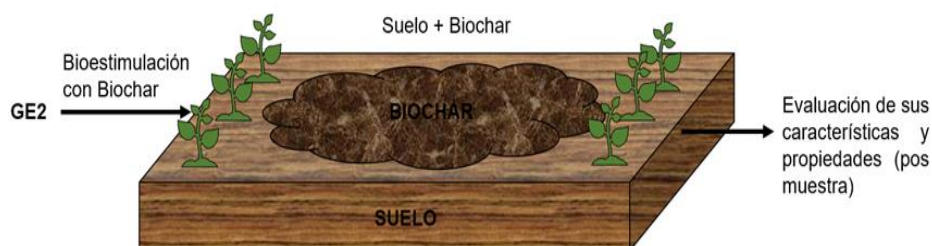
Grupo experimental 1



Nota. Se añadió Bocashi al suelo (pre muestra) en diferentes proporciones como bio estimulador y se mezcló con el suelo a trabajar, para luego evaluarlos en un periodo de tiempo, analizando los resultados de las diferentes proporciones en el suelo estimulado.

Figura 3

Grupo experimental 2



Nota. Se añadió Biochar al suelo (pre muestra) en diferentes proporciones como bio estimulador y se mezcló con el suelo a trabajar, para luego evaluarlos en un periodo de tiempo, analizando los resultados de las diferentes proporciones en el suelo estimulado.

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Los datos se presentan mediante cuadros estadísticos descriptivos y figuras que representan el comportamiento de los datos, para ello se usó la descripción científica.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La información se procesó y analizó mediante el software estadístico SPSS en su versión 29, y los datos fueron ordenado en Excel. Se consideran las medidas de tendencia central mediana, moda, error estándar, además de la prueba de normalidad y posterior a ello el contraste de hipótesis.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Tabla 5

Datos pre experimentales

| Parámetros fisicoquímicos (inicial) | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------|-------------|----------|--------------------------|------|-----------|----------|--------|--------|--------|---------|--------|
| N | Arena (%) | Arcilla (%) | Limo (%) | Textura | pH | CE (dS/m) | M.O. (%) | N (%) | C | P | K | CIC |
| 1 | 66 | 23 | 11 | Franco Arcilloso arenoso | 7.67 | 0.16 | 2.78 | 0.1388 | 1.6097 | 15.585 | 217.644 | 10.466 |

Nota. Los datos pre experimentales muestran al suelo antes de la intervención propuesta.

De la tabla 5 al considerar la textura, se aprecia abundancia de arcilla y arena, por lo que se tuvo un suelo Franco Arcilloso arenoso, que suele retener agua. El pH 7.67 es un rango aceptable para muchos cultivos. Materia orgánica 2.78%: Es un contenido moderado, lo que sugiere una fertilidad media. Se puede potenciar añadiendo compost o enmiendas orgánicas para incrementar la disponibilidad de nutrientes y la actividad biológica.

Tabla 6*Datos experimentales después del tratamiento con bocashi*

| N | Parámetros fisicoquímicos (post) Bocashi | | | | | | | | | | | |
|-------|--|-------------|----------|--------------|------|-----------|----------|-------|-------|--------|---------|--------|
| | Arena (%) | Arcilla (%) | Limo (%) | Textura | pH | CE (dS/m) | M.O. (%) | N (%) | C | P | K | CIC |
| M1(B) | 73 | 13 | 14 | Arena Franca | 7.51 | 1.33 | 3.36 | 0.168 | 1.948 | 23.426 | 124.496 | 11.7 |
| M2(B) | 73 | 15 | 12 | Arena Franca | 7.72 | 1.5 | 3.69 | 0.185 | 2.143 | 22.212 | 205.312 | 13.447 |
| M3(B) | 77 | 13 | 10 | Arena Franca | 8.01 | 1.54 | 3.31 | 0.166 | 1.92 | 22.605 | 275.655 | 16.119 |
| M4(B) | 71 | 15 | 14 | Arena Franca | 7.89 | 1.37 | 3.21 | 0.161 | 1.865 | 23.997 | 250.028 | 12.722 |
| M5(B) | 73 | 15 | 12 | Arena Franca | 7.46 | 2.21 | 4.41 | 0.221 | 2.56 | 24.149 | 315.521 | 17.992 |
| M6(B) | 71 | 15 | 14 | Arena Franca | 7.46 | 0.58 | 1.92 | 0.96 | 1.113 | 15.573 | 522.423 | 11.381 |

Nota. Los datos se muestran después de un análisis después de la ampliación de bocashi por un periodo de 60 días.

De la tabla 6 se aprecia para el tratamiento con Bocashi generó mejoras notables en la calidad del suelo. Las muestras analizadas presentaron una textura de arena franca, y mostraron respuestas positivas en varios parámetros clave. El pH del suelo se mantuvo dentro de un rango ligeramente alcalino (7.46–8.01), ideal para la disponibilidad óptima de la mayoría de nutrientes. La conductividad eléctrica (CE) mostró un aumento moderado. La materia orgánica (M.O.) y el contenido de carbono (C) reflejaron un incremento, lo que demuestra una mejora en la estructura y fertilidad del suelo. Aunque el nitrógeno (N) también aumentó, lo hizo en menor proporción, lo cual indica una liberación gradual de este nutriente. Los efectos más destacados del Bocashi fueron el aumento del fósforo (P) y el potasio (K), esenciales para el desarrollo vegetal, además se observó una mejora en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), principal indicador clave de la capacidad del suelo para retener y suministrar nutrientes.

Tabla 7*Datos experimentales después del tratamiento con biochar*

| N | Parámetros fisicoquímicos (post) Biochar | | | | | | | | | | | |
|--------|--|-------------|----------|----------------|------|-----------|----------|-------|-------|--------|---------|--------|
| | Arena (%) | Arcilla (%) | Limo (%) | Textura | pH | CE (dS/m) | M.O. (%) | N (%) | C | P | K | CIC |
| M1(BC) | 67 | 19 | 14 | Franco Arenoso | 7.94 | 0.2 | 3.26 | 0.163 | 1.892 | 18.45 | 193.532 | 17.372 |
| M2(BC) | 69 | 19 | 12 | Franco Arenoso | 8.58 | 1.71 | 3.65 | 0.182 | 2.115 | 18.551 | 430.809 | 19.46 |
| M3(BC) | 67 | 19 | 14 | Franco Arenoso | 7.8 | 0.51 | 2.06 | 0.103 | 1.197 | 18.394 | 152.509 | 12.955 |
| M4(BC) | 69 | 19 | 12 | Franco Arenoso | 8.87 | 0.52 | 2.3 | 0.115 | 1.336 | 18.687 | 431.37 | 18.783 |
| M5(BC) | 69 | 19 | 12 | Franco Arenoso | 8.78 | 0.53 | 3.93 | 0.197 | 2.282 | 18.551 | 404.11 | 17.47 |
| M6(BC) | 69 | 19 | 12 | Franco Arenoso | 7.14 | 0.47 | 2.3 | 0.115 | 1.336 | 19.004 | 252.752 | 11.808 |

Nota. El tipo textural es el más ideal para un suelo productivo, el pH varía de 7.14 a 8.87 lo cual asciende hasta ligeramente alcalino. La Materia orgánica incrementa en rangos de 2.3 hasta 3.93 es manteniéndose en media, reflejado en que se añadió la enmienda orgánica biochar para los tratamientos.

De la tabla 7 se aprecia para el tratamiento con Biochar produjo cambios moderados en las propiedades del suelo degradado. El pH del suelo se mantuvo en un rango adecuado (7.14–8.87), incluso más alcalino que con Bocashi, lo que podría beneficiar o limitar ciertos cultivos dependiendo de sus requerimientos específicos. La conductividad eléctrica (CE) fue generalmente baja, con excepción de dos muestras con valores más altos, indicando una menor liberación de sales solubles comparado con el Bocashi. La materia orgánica (M.O.) y el carbono (C), se observó un leve incremento. Sin embargo, la variabilidad entre las muestras sugiere que el efecto del Biochar no fue homogéneo. El contenido de nitrógeno (N) también fue bajo y con diferencias poco marcadas entre las muestras. El fósforo (P) mostró valores estables (entre 18.39 y 19.00 mg/kg), aunque inferiores a los obtenidos con Bocashi. Por otro lado, el contenido de potasio (K) fue alto en algunas muestras, alcanzando hasta 430 mg/kg, lo cual indica un aporte importante de este nutriente por parte del Biochar. En conclusión, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) incrementó moderadamente, con valores que alcanzaron hasta 19.4 cmol(+)/kg, reflejando una mejora en la retención de nutrientes.

Efecto del bocashi y biochar de eucalipto sobre el tipo textural del suelo degradado por pesticidas.

Tabla 8

Distribución de texturas del suelo antes y después del experimento

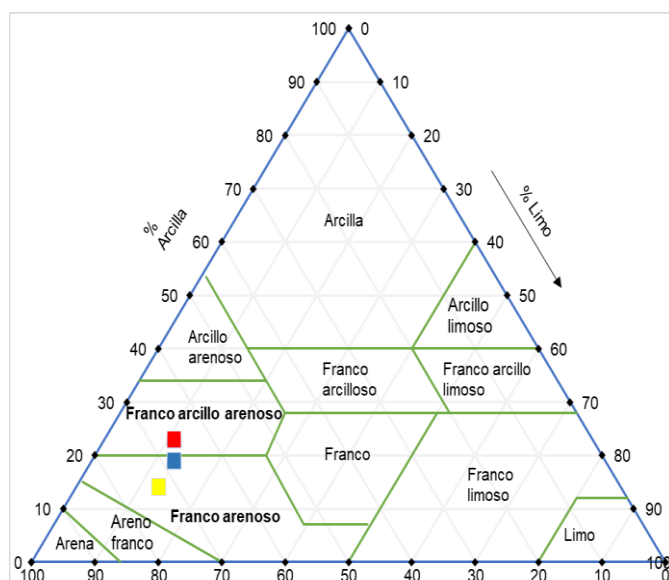
| Tratamiento | Tipo Textural | | | SUMA (%) |
|-------------|---------------|-----------|----------|----------|
| | Arcilla (%) | Arena (%) | Limo (%) | |
| Inicial | 23 | 66 | 11 | 100 |
| Bocashi | 14 | 73 | 13 | 100 |
| Biochar | 19 | 68 | 13 | 100 |

Nota. Inicialmente se tuvo un suelo franco arcillo arenoso y con ambas enmiendas se tuvo un suelo franco arenoso.

El suelo franco arcilloso arenoso (pre experimento) tiene una retención moderada de infiltrar agua, suficiente arcilla para retener nutrientes, pero la proporción de arena puede limitar su capacidad de almacenamiento de materia orgánica. Por otro lado, el suelo franco arenoso tiene un drenaje ideal y no retiene mucha agua, el limo y la arcilla ayudan a retener nutrientes, por lo que es ideal para cultivos por ejemplo los tubérculos (papa, camote, etc.)

Figura 4

Comparación de la clase textural del suelo en los tratamientos



Nota. El triángulo de textura es esencial para entender las propiedades físicas del suelo y su capacidad para soportar cultivos, drenar agua y retener nutrientes. Se puede apreciar el impacto positivo de las enmiendas orgánicas en la textura del suelo, lo que contribuye a su recuperación.

Efecto del bocashi y biochar de eucalipto sobre las propiedades químicas del suelo degradado por pesticidas.

Tabla 9

Propiedades químicas del suelo después de los tratamientos

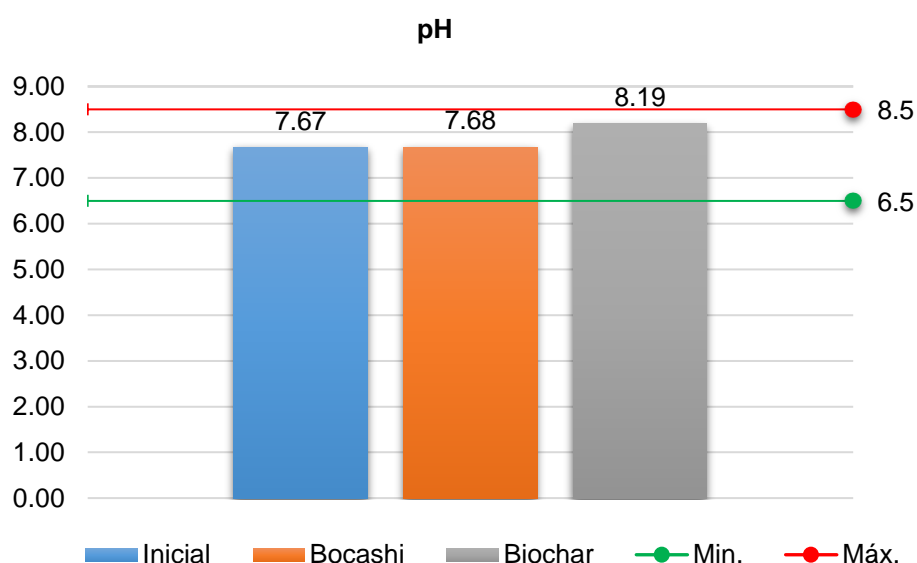
| Propiedad | Tratamiento | Obs. | Media | Error estándar | Min. | Max. |
|------------|-------------|------|--------|----------------|--------|--------|
| pH | Boc. | 6 | 7.68 | 0.24 | 7.46 | 8.01 |
| | Bio. | 6 | 8.19 | 0.68 | 7.14 | 8.87 |
| CE | Boc. | 6 | 1.42 | 0.52 | 0.58 | 2.21 |
| | Bio. | 6 | 0.66 | 0.53 | 0.20 | 1.71 |
| MO | Boc. | 6 | 3.32 | 0.81 | 1.92 | 4.41 |
| | Bio. | 6 | 2.92 | 0.80 | 2.06 | 3.93 |
| N | Boc. | 6 | 0.31 | 0.32 | 0.16 | 0.96 |
| | Bio. | 6 | 0.15 | 0.04 | 0.10 | 0.20 |
| C | Boc. | 6 | 1.92 | 0.47 | 1.11 | 2.56 |
| | Bio. | 6 | 1.69 | 0.46 | 1.20 | 2.28 |
| P | Boc. | 6 | 21.99 | 3.24 | 15.57 | 24.15 |
| | Bio. | 6 | 18.61 | 0.22 | 18.39 | 19.00 |
| K | Boc. | 6 | 282.24 | 134.67 | 124.50 | 522.42 |
| | Bio. | 6 | 310.85 | 126.35 | 152.51 | 431.37 |
| CIC | Boc. | 6 | 13.89 | 2.62 | 11.38 | 17.99 |
| | Bio. | 6 | 16.31 | 3.16 | 11.81 | 19.46 |

Nota. Los tratamientos se consideran Boc. (Bocashi) y Bio. (Biochar tomando en cuenta los datos del pretratamiento. Se empleó un intervalo de confianza del 95% para la media, en la que se aprecia los datos para después de los tratamientos al suelo degradado por pesticidas.

Considerando la media de los datos en la tabla 9 se tiene que, el Bocashi mostró un efecto más uniforme y equilibrado, destacando en el aumento de la materia orgánica (3.32%), el nitrógeno (0.31%), el carbono (1.92%) y especialmente el fósforo (21.99 mg/kg), parámetros clave para la fertilidad y productividad del suelo. También incrementó la conductividad eléctrica (1.42 dS/m), reflejando una mayor liberación de nutrientes solubles en comparación con el Biochar. Por otro lado, el Biochar presentó un efecto más focalizado, sobresaliendo en el aumento del potasio (310.85 mg/kg) y en la mejora de la capacidad de intercambio catiónico (16.31 cmol(+)/kg), indicadores vinculados a la retención de nutrientes y su disponibilidad a largo plazo. Asimismo, elevó más el pH del suelo (8.19), llevándolo a un rango más alcalino.

Figura 5

Diferencias del pH en los tratamientos

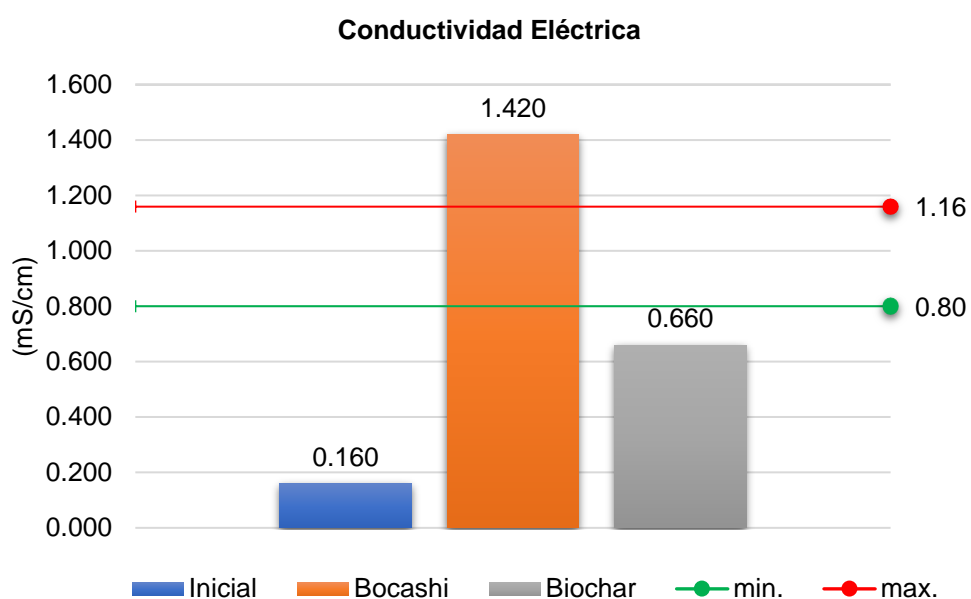


Nota. De la figura 6, en el gráfico de barras, se observa la media del pH antes y después de los tratamientos con ambas enmiendas orgánicas.

Los resultados muestran que, los valores de pH en los valores de pH en los tratamientos se sitúan dentro del rango óptimo establecido (6.5–8.5). El tratamiento con biochar registró el valor más alto (8.19), cercano al límite superior, lo que sugiere una tendencia hacia la alcalinidad que podría influir en la disponibilidad de ciertos nutrientes. Por otro lado, el Bocashi (7.68) mostró un cercano a la neutralidad, lo que podría favorecer un equilibrio químico más estable.

Figura 6

Diferencias de la Conductividad en los tratamientos

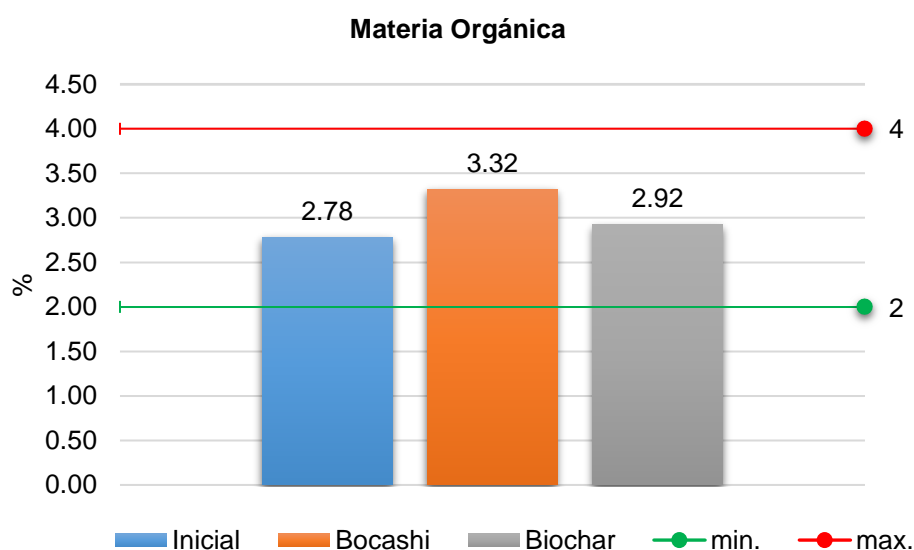


Nota. De la figura 7, en el gráfico de barras, se observa la CE antes y después de los tratamientos con ambas enmiendas orgánicas.

El tratamiento Bocashi presentó el valor más elevado (1.420 mS/cm), superando el límite máximo establecido de 1.16 mS/cm. Esto podría indicar un exceso de sales solubles, lo cual puede afectar negativamente la absorción de agua y nutrientes por las raíces, especialmente en plantas sensibles a la salinidad. En contraste el tratamiento con Biochar alcanzó un valor intermedio (0.660 mS/cm), aunque aún por debajo del mínimo ideal, lo que sugiere una mejora en la conductividad respecto al suelo inicial, pero todavía insuficiente para considerarse óptima.

Figura 7

Diferencias de la Materia orgánica en los tratamientos

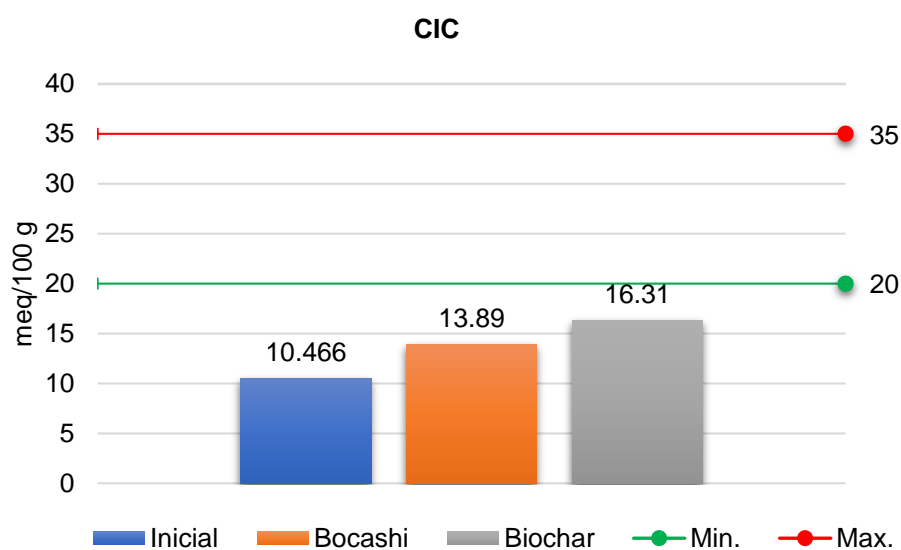


Nota. De la figura 8 en gráfico de barras se aprecia que la MO antes y después de los tratamientos con ambas enmiendas orgánicas.

Los tratamientos evaluados presentan niveles de materia orgánica dentro del rango óptimo establecido (2%–4%), lo cual favorece la fertilidad del suelo y el desarrollo vegetal. El tratamiento con bocashi obtuvo el valor más alto (3.32%), indicando un aporte significativo de residuos orgánicos que pueden mejorar la estructura del suelo, la retención de humedad y la actividad microbiana. El tratamiento con Biochar también mostró un incremento respecto al valor inicial (2.92%), lo cual es positivo considerando que el Biochar mejora la estabilidad del carbono en el suelo a largo plazo. Considerando que el valor Inicial presentó un tubo 2.78%, aunque aún dentro del rango adecuado.

Figura 8

Diferencias de la CIC en los tratamientos

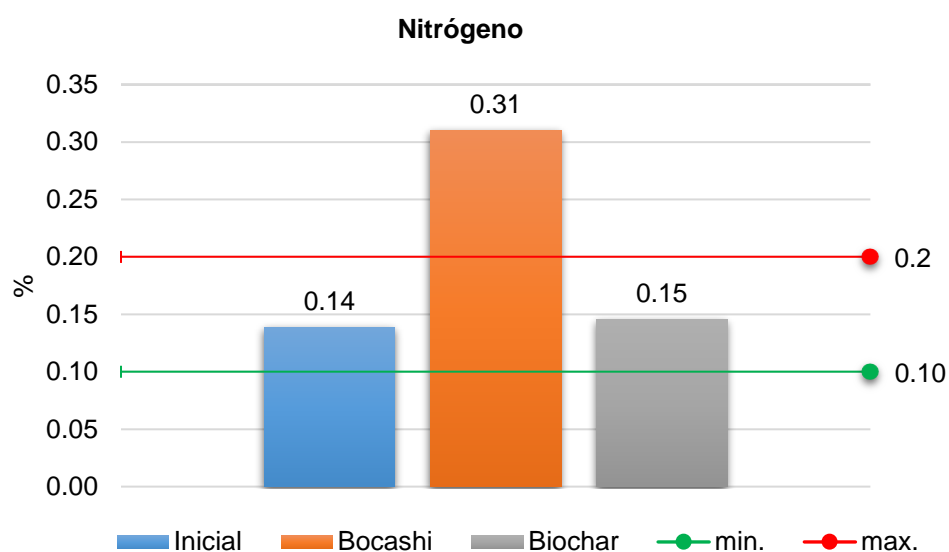


Nota. De la Figura 9, en el gráfico de barras, se observa la CIC antes y después de los tratamientos con ambas enmiendas orgánicas.

Los datos muestran para los valores de CIC muestran una mejora progresiva con la aplicación de enmiendas: Inicial (10.47 meq/100 g), Bocashi (13.89 meq/100 g) y Biochar (16.31 meq/100 g). Aunque ninguno de los tratamientos alcanzó el rango óptimo (20–35 meq/100 g), se observa un avance importante, especialmente con el uso de Biochar, que evidencia su capacidad para mejorar la retención de cationes. El Biochar actúa como una esponja química, reteniendo nutrientes en su superficie porosa y evitando su lixiviación. En comparación, el Bocashi tiene una acción más rápida en la mejora de la fertilidad, pero menos persistente en el tiempo.

Figura 9

Diferencias del Nitrógeno en los tratamientos

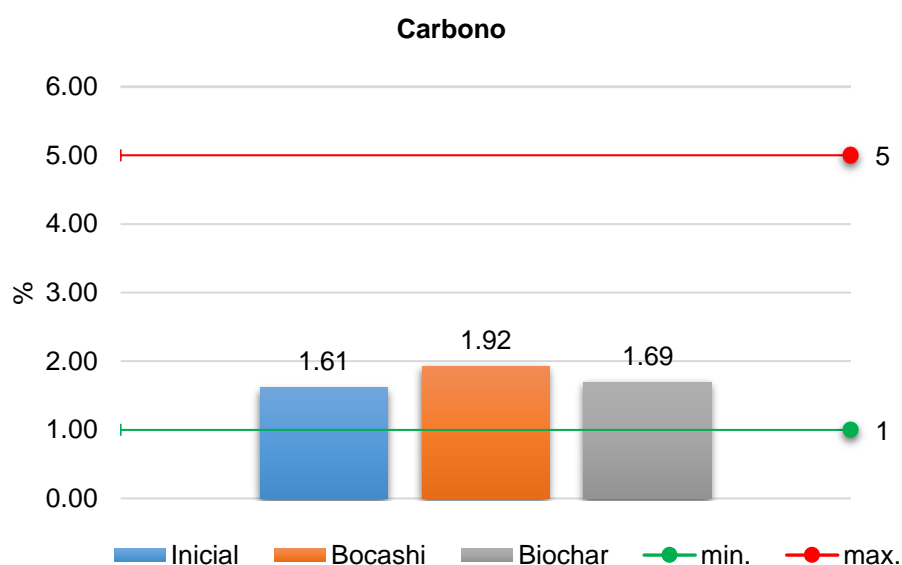


Nota. De la Figura 10, en el gráfico de barras, se observa el Nitrógeno (N) antes y después de los tratamientos con ambas enmiendas orgánicas.

El tratamiento con Bocashi presentó el contenido más alto de nitrógeno (0.31%), superando el límite superior del rango óptimo (0.10–0.20%). Este resultado destaca la capacidad del Bocashi para enriquecer el suelo con nitrógeno, elemento esencial para el crecimiento vegetal. El tratamiento con Biochar (0.15%) se ubicara dentro del rango adecuado, reflejando un aporte moderado y equilibrado. El exceso de nitrógeno, como el que se observa en el Bocashi, puede ser beneficioso en cultivos de alta demanda, pero también puede provocar lixiviación y contaminación si no se maneja adecuadamente. En cambio, el Biochar contribuye a una liberación más controlada y sostenida de nitrógeno. Esto sugiere que, aunque el Bocashi tiene un efecto más inmediato, el Biochar ofrece ventajas en sistemas agrícolas de mediano y largo plazo.

Figura 10

Diferencias del Carbono en los tratamientos

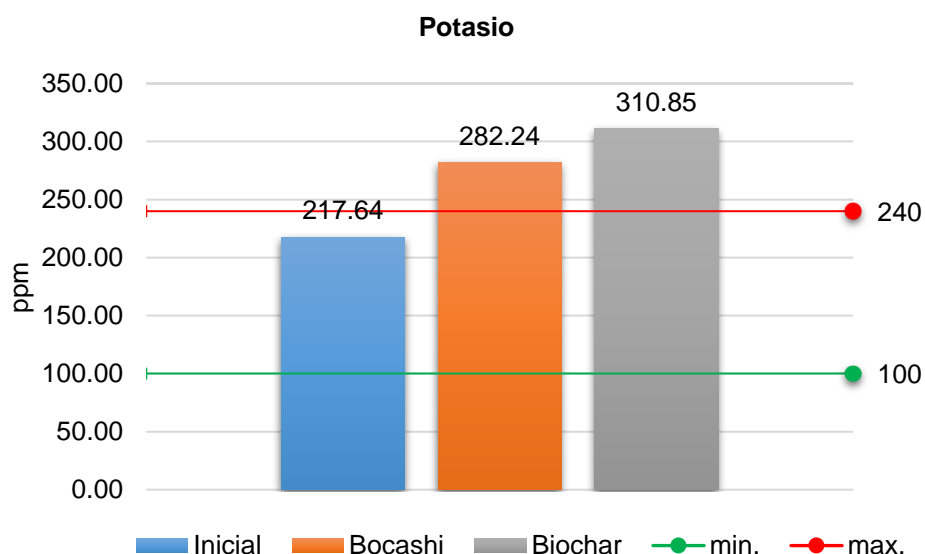


Nota. De la Figura 11, en el gráfico de barras, se observa el Carbono (C) antes y después de los tratamientos con ambas enmiendas orgánicas.

Todos los tratamientos superan el valor mínimo requerido de carbono (1%), con el Bocashi alcanzando el mayor valor (1.92%), seguido de Biochar (1.69%) considerando que el valor Inicial (1.61%). Esto refleja una mejora en la calidad orgánica del suelo. El carbono es esencial para su estructura y actúa como fuente de energía para microorganismos beneficiosos. El Biochar, aunque no muestra el valor más alto, tiene la ventaja de aportar carbono estable y resistente a la descomposición, lo que contribuye a la formación de humus y al secuestro de carbono atmosférico. El Bocashi, en cambio, aporta carbono más fácilmente degradable, lo que favorece una rápida mineralización y disponibilidad de nutrientes en el corto plazo.

Figura 11

Diferencias del Potasio en los tratamientos

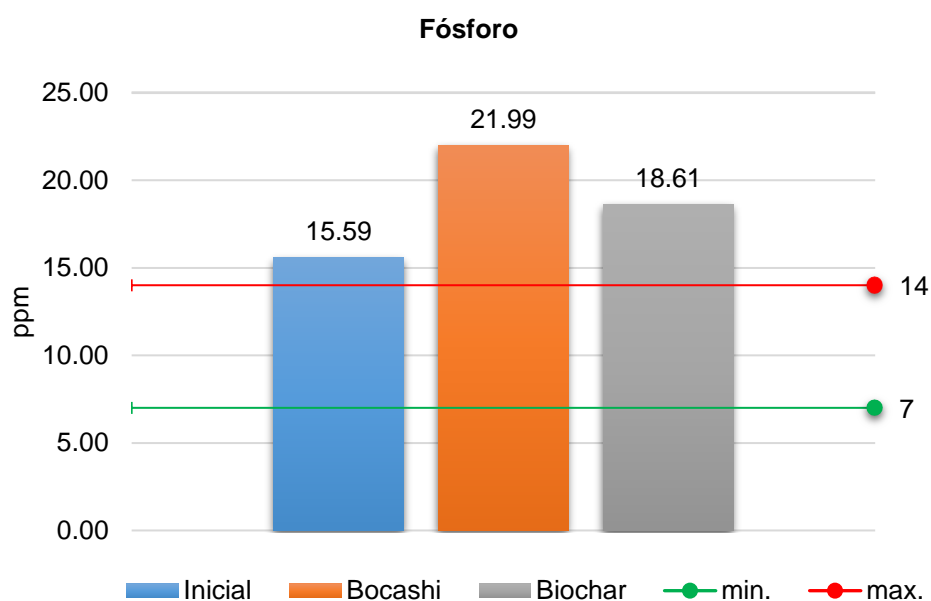


Nota. De la figura 12, en el gráfico de barras, se observa el Potasio (K) antes y después de los tratamientos con ambas enmiendas orgánicas.

El potasio presentó los valores más altos en los tratamientos con enmiendas: Biochar (310.85 ppm), Bocashi (282.24 ppm), ambos por encima del rango óptimo (100–240 ppm). El tratamiento inicial (217.64 ppm) se encontraba dentro del intervalo adecuado. El incremento de potasio es positivo para cultivos que requieren este elemento para la floración y el desarrollo de frutos. Sin embargo, valores excesivos pueden causar antagonismos con otros nutrientes, especialmente magnesio y calcio, lo cual podría alterar el equilibrio iónico del suelo, para lo cual se debe hacer monitoreos constantes.

Figura 12

Diferencias del Fósforo en los tratamientos



Nota. De la figura 13, en gráfico de barras, se observa el Fósforo (P) antes y después de los tratamientos con ambas enmiendas orgánicas.

El fósforo mostró niveles elevados en los tratamientos con enmiendas: Bocashi (21.99 ppm) y Biochar (18.61 ppm), ambos por encima del rango óptimo (7–14 ppm). El tratamiento inicial (15.59 ppm) ya superaba el valor máximo recomendado. El fósforo es esencial para el desarrollo radicular y el establecimiento de las plantas. No obstante, niveles muy altos de fósforo pueden generar acumulación en el suelo y riesgos de contaminación por escorrentía. Por lo tanto, aunque Bocashi aporta una gran cantidad de fósforo útil, su aplicación debe hacerse con criterio técnico.

Efecto del bocashi y biochar de eucalipto sobre las propiedades biológicas del suelo degradado por pesticidas.

Se realizó la cromatografía teniendo en cuenta el manual de cromatografía de suelos mediante el método PFEIFFER, ideal para el método cualitativo útil en análisis físico, nutrimental y biológico de suelo.

Se ejecutó la comparación de resultados de acuerdo a como indica el manual según la tabla de interpretación.

Tabla 10

Cromatografía *inicial* (pre muestra)

| TIPO DE ANÁLISIS | ZONA | | | |
|------------------|--|--|--|---|
| | CENTRAL | INTERNA | INTERMEDIA | PERIFÉRICA |
| Pre muestra | Aireación u oxígeno | Mineral | Proteica o de la materia orgánica | Enzimática |
| 1 | Sin presencia de zona central, poca oxigenación, suelo compactado. | Sin distinción entre zona interna y central, suelo arenoso y erosionado. | No está definida, escasa materia orgánica. | Heterogeneidad en el borde lo que representa baja actividad microbiana. |

Nota. Se realizó en pre análisis, para considerar el efecto desde un suelo inicial.

La técnica de cromatografía fue en papel; como fase estacionaria y un solvente como fase móvil. Permitiendo diagnosticar el estado del suelo antes de aplicar estrategias de recuperación (enmiendas orgánicas). Se analiza la composición química y biológica del suelo, permitiendo evaluar su calidad y estado de degradación.

Tabla 11

Cromatografía *final tratamiento con bocashi (post muestra)*

| TIPO DE ANÁLISIS | ZONA | | | |
|------------------|---|---|--|---|
| | CENTRAL | INTERNA | INTERMEDIA | PERIFÉRICA |
| Bocashi | Aireación | Mineral | Proteica | Enzimática |
| PM1 | Color cremoso que se desvanece lentamente: Presencia de oxígeno por buena estructura, sin compactación y presenta MO. | Coloración dorada aislada: Presencia de minerales | Coloración café claro y radiaciones: Indica una materia orgánica integrada por la microbiología | Presencia de microorganismos, aunque no hay diversidad ya que los dientes son homogéneos. |
| PM2 | Color cremoso que se desvanece lentamente: Presencia de oxígeno por buena estructura, sin compactación y presenta MO. | Color cremoso: Buena estructura de suelo, actividad biológica eficiente y buena cantidad de MO. | Coloración café claro y radiaciones: Indica una materia orgánica integrada por la microbiología | Nubecillas: Abundancia y variedad nutricional disponible |
| PM3 | Color cremoso que se desvanece lentamente: Presencia de oxígeno por buena estructura, sin compactación y presencia de MO. | Color cremoso: Buena estructura de suelo, actividad biológica eficiente y buena cantidad de MO. | Coloración café claro y radiaciones: Indica una materia orgánica integrada por la microbiología | Nubecillas: Abundancia y variedad nutricional disponible |
| PM4 | Color cremoso que se desvanece lentamente: Presencia de oxígeno con estructura, sin compactación y presencia de MO. | Color cremoso: Buena estructura de suelo, actividad biológica eficiente y buena cantidad de MO. | Coloración café claro y radiaciones: Indica una materia orgánica integrada por la microbiología | Nubes onduladas muy tenues o lunares suaves de colores café: Suelo ideal. |
| PM5 | Color cremoso que se desvanece lentamente: Presenta de oxígeno por buena estructura, sin compactación y presencia de MO. | Color cremoso: Buena estructura de suelo, actividad biológica eficiente y buena cantidad de MO. | Coloración café claro y radiaciones: Indica una materia orgánica integrada por la microbiología. | Nubes onduladas muy tenues o lunares suaves de colores café: Suelo ideal. |

Nota. La técnica de cromatografía fue en papel.

Como fase estacionaria y un solvente como fase móvil. Permitiendo diagnosticar el estado del suelo después de aplicar estrategias de recuperación (Bocashi). Se analizó la composición química y biológica del suelo, permitiendo evaluar su calidad y estado de recuperación.

Tabla 12

Cromatografía final tratamiento con biochar (post muestra)

| TIPO DE ANÁLISIS | ZONA | | | |
|------------------|---|---|--|---|
| | CENTRAL | INTERNA | INTERMEDIA | PERIFÉRICA |
| Biochar | Aireación | Mineral | Proteica | Enzimática |
| M1 | Color cremoso que se desvanece lentamente: Presenta oxígeno por buena estructura, sin compactación y presencia de MO. | Color cremoso: Buena estructura de suelo, actividad biológica y buena cantidad de MO. | Coloración café claro y radiaciones: indica una materia orgánica integrada por la microbiología. | Nubes onduladas muy tenues o lunares suaves de colores café: Suelo ideal. |
| M2 | Color cremoso se desvanece de a poco: oxígeno por buena estructura, sin compactación y MO, actividad enzimática y microbiológica. | Color cremoso: Buena estructura de suelo, actividad biológica eficiente y buena cantidad de MO. | Coloración café claro y radiaciones: indica una materia orgánica integrada por la microbiología. | Nubes onduladas muy tenues o lunares suaves de colores café: Suelo ideal. |
| M3 | Color cremoso se desvanece de a poco: oxígeno por buena estructura, sin compactación y de MO, actividad enzimática microbiológica. | Color cremosas, café claro y oscuro, se integra con las demás zonas: Buena estructura del suelo, actividad biológica eficiente y MO | Coloración café claro y radiaciones: Indica una materia orgánica integrada por la microbiología. | Ondulaciones y lunares suaves: Buena relación entre la materia orgánica, los minerales y la microbiología |
| M4 | Color cremoso que desvanece lentamente: oxígeno por buena estructura, sin compactación y MO, actividad enzimática y microbiológica. | Color cremosas, café claro y oscuro se integra con las demás zonas: Buena estructura del suelo, actividad biológica eficiente y MO. | Coloración café claro y radiaciones: Indica una materia orgánica integrada por la microbiología. | Presencias de lunares enzimáticos representan una buena actividad microbiana. |
| M5 | Color cremoso se desvanece de a poco: oxígeno por buena estructura, sin compactación y MO, actividad enzimática y microbiológica. | Color cremosas, café claro y oscuro se integra con las demás zonas: Buena estructura del suelo, actividad biológica eficiente y MO. | Coloración café claro y radiaciones: Indica una materia orgánica integrada por la microbiología. | Presencias de lunares enzimáticos representan una buena actividad microbiana. |

Nota. La técnica de cromatografía fue en papel.

Como fase estacionaria y un solvente como fase móvil. Permitiendo diagnosticar el estado del suelo después de aplicar estrategias de recuperación (biochar). Se analizó la composición química y biológica del suelo, permitiendo evaluar su calidad y estado de recuperación.

Resultados de cromatografía

Figura 14

Pre muestra (antes de la intervención)

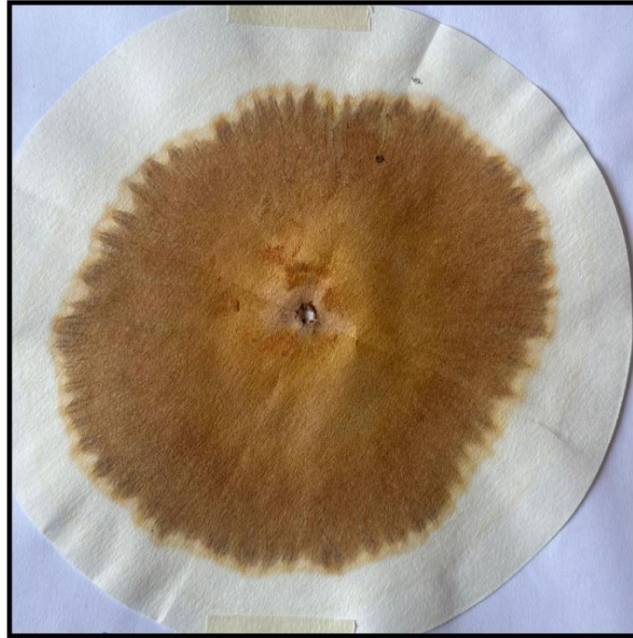


Figura 15

Post muestra bocahsi (PM1)

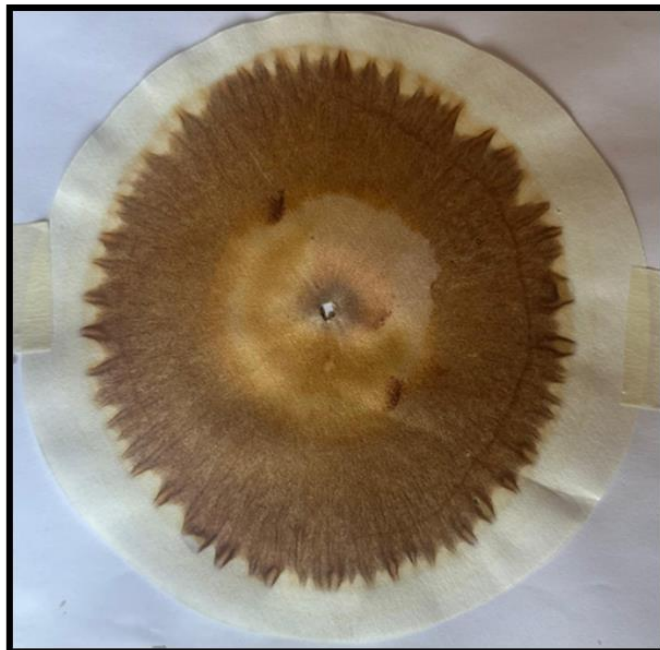


Figura 16

Post muestra bocahsi (PM2)



Figura 137

Post muestra bocahsi (PM3)



Figura 148

Post muestra bocahsi (PM4)



Figura 159

Post muestra bocahsi (PM5)



Figura 20

Post muestra biochar (M1)



Figura 216

Post muestra biochar (M2)



Figura 2217

Post muestra biochar (M3)



Figura 23

Post muestra biochar (M4)



Figura 2418

Post muestra biochar (M5)



4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para realizar la prueba de hipótesis, es necesarios conocer la distribución de normalidad de los datos, por lo que se presenta la siguiente tabla:

Tabla 13

Prueba de normalidad

| Diferencia | Tratamiento | Shapiro-Wilk | | |
|------------|-------------|--------------|----|--------------|
| | | Estadístico | gl | Sig. |
| pH | Bocashi | 0,867 | 6 | 0,215 |
| | Biochar | 0,915 | 6 | 0,467 |
| CE | Bocashi | 0,919 | 6 | 0,499 |
| | Biochar | 0,694 | 6 | 0,005 |
| MO | Bocashi | 0,918 | 6 | 0,491 |
| | Biochar | 0,874 | 6 | 0,241 |
| N | Bocashi | 0,555 | 6 | 0,000 |
| | Biochar | 0,927 | 6 | 0,557 |
| C | Bocashi | 0,914 | 6 | 0,465 |
| | Biochar | 0,875 | 6 | 0,245 |
| P | Bocashi | 0,708 | 6 | 0,007 |
| | Biochar | 0,882 | 6 | 0,277 |
| K | Bocashi | 0,921 | 6 | 0,516 |
| | Biochar | 0,842 | 6 | 0,136 |
| CIC | Bocashi | 0,896 | 6 | 0,351 |
| | Biochar | 0,862 | 6 | 0,195 |

Nota. La tabla 13 presenta los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicada a las diferencias (pre y post tratamiento) en distintas variables del suelo tratadas con Bocashi y Biochar.

De la prueba de Shapiro-Wilk se evalúa si la muestra sigue una distribución normal.

- Si Sig. > 0.05, se asume normalidad (la diferencia sigue una distribución normal).
- Si Sig. ≤ 0.05, se rechaza la normalidad (la diferencia no sigue una distribución normal).

Se puede apreciar que, CE (Biochar); N (Bocashi) y P (Bocashi) son datos con no normalidad. A diferencia de los demás datos que sí. Por lo que es pertinente el uso de una prueba no paramétrica en este caso Mann-Whitney y para los datos con distribución normal, se aplica una prueba paramétrica para este caso t de Student.

Tabla 14

Prueba paramétrica t de Student de muestras emparejadas

| Diferencia | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | | t | gl | Sig. (bilateral) |
|------------------|--------|---------------------|----------------------------|--|----------|--------|----|---------------------|
| | | | | Inferior | Superior | | | |
| pH (Bocashi) | -0,005 | 0,2367 | 0,0966 | -0,2534 | 0,2434 | -0,052 | 5 | 0,961 |
| pH (Biochar) | -,5150 | 0,6752 | 0,2757 | -1,2236 | 0,1936 | -1,868 | 5 | 0,121 |
| CE (Bocashi) | -1,262 | 0,5217 | 0,2130 | -1,8092 | -0,7141 | -5,923 | 5 | 0,002 |
| MO (Bocashi) | -0,537 | 0,8123 | 0,3316 | -1,3891 | 0,3157 | -1,618 | 5 | 0,166 |
| MO (Biochar) | - | 0,7971 | 0,3254 | -0,9732 | 0,6999 | -0,420 | 5 | 0,692 |
| N (Biochar) | 0,1367 | 0,0393 | 0,0161 | -,04794 | 0,0346 | -0,415 | 5 | 0,695 |
| C (Bocashi) | -0,315 | 0,4727 | 0,1930 | -0,8111 | 0,1811 | -1,632 | 5 | 0,164 |
| C (Biochar) | - | 0,4600 | 0,1878 | -0,5677 | 0,3977 | -0,453 | 5 | 0,670 |
| P (Biochar) | 0,0850 | 0,2189 | 0,0894 | -3,2447 | -2,7853 | - | 5 | 0,000 |
| K (Bocashi) | 3,0150 | 134,6662 | 54,9772 | -205,9235 | 76,7235 | 33,740 | 5 | 0,293 |
| K (Biochar) | 64,600 | 126,3519 | 51,5830 | -225,8049 | 39,3916 | -1,807 | 5 | 0,131 |
| CIC (Bocashi) | 93,207 | 2,6246 | 1,0715 | -6,1776 | -0,6690 | -3,195 | 5 | 0,024 |
| CIC (Biochar) | -3,423 | 3,1612 | 1,2905 | -9,1558 | -2,5209 | -4,524 | 5 | 0,006 |

Nota. Dado que se comparan medias de antes y después (pre y post) de la intervención con el bocashi y biochar se Prueba paramétrica t d Student de muestras emparejadas.

Tras la aplicación de los tratamientos orgánicos Bocashi y Biochar, se realizó un análisis comparativo de sus efectos sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo degradado. Para ello, se utilizó la prueba t de muestras emparejadas, comparando los valores pre y post tratamiento para cada variable.

Tabla 15*Prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras emparejadas*

| Estadísticos de prueba | | | |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | N (Bocashi) | P (Bocashi) | CE (Biochar) |
| Z | -2,207 ^b | -1,992 ^b | -2,201 ^b |
| Sig. asintótica(bilateral) | 0,027 | 0,046 | 0,028 |

Nota. El valor de Z se basa en rangos negativos. Para indicadores con no normalidad.

Todos los valores están por debajo de 0,05, esto indica que hay diferencias estadísticamente significativas en todos los casos. N (Bocashi) $p = 0,027$ P (Bocashi); $p = 0,046$ aunque más cercana al límite y CE (Biochar) $p = 0,028$.

Tabla 16*Conclusiones estadísticas por indicador*

| Indicador | Bocashi | Biochar | Conclusión |
|------------------|---|---|---|
| pH | No significativo ($p = 0.961$) | No significativo ($p = 0.121$) | Ninguno de los tratamientos modificó significativamente el pH del suelo. |
| CE | Significativo ($p = 0.002$) | Significativo ($p = 0.030$) | Ambos tratamientos mejoraron significativamente la conductividad eléctrica del suelo, siendo Bocashi el de mayor efecto. |
| MO | No significativo ($p = 0.166$) | No significativo ($p = 0.695$) | Ninguno de los tratamientos incrementó significativamente la materia orgánica. |
| N | No significativo ($p = 0.692$) | No significativo ($p = 0.695$) | No hubo efecto significativo sobre el nitrógeno en ambos tratamientos. |
| C | No significativo ($p = 0.164$) | No significativo ($p = 0.724$) | No se encontraron cambios significativos en el carbono. |
| P | Significativo ($p = 0.020$) | No significativo ($p = 0.134$) | Solo Bocashi incrementó significativamente el fósforo disponible en el suelo. |
| K | No significativo ($p = 0.134$) | No significativo ($p = 0.134$) | El potasio no mostró cambios estadísticamente significativos con ninguno de los tratamientos. |
| CIC | Significativo ($p = 0.006$) | Significativo ($p = 0.024$) | Ambos tratamientos incrementaron significativamente la capacidad de intercambio catiónico, siendo el efecto de Bocashi mayor. |

Nota. Las conclusiones son a partir de los resultados de la prueba t de muestras emparejadas, para los tratamientos Bocashi y Biochar

Considerando la hipótesis planteada:

H1: Las enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) tienen efecto en la mejora de calidad del suelo degradado por pesticidas, Huánuco.

H0: Las enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) no tienen efecto en la mejora de calidad del suelo degradado por pesticidas, Huánuco.

Se aprecia que las enmiendas orgánicas bocashi y biochar tuvieron efectos similares sobre la mejora de la calidad del suelo degradado, por lo que se acepta la hipótesis alterna H1 y se rechaza la hipótesis nula (H0).

Tabla 17

Interpretación del efecto sobre las propiedades mecánicas del suelo

| Indicador mecánico | Rango | Pre test | | | Post test | | Interpretación |
|--------------------|-------|----------|---------|---------|-----------|-----------------------------|----------------|
| | | T1 | Bocashi | Biochar | | | |
| Arena | 23–52 | 66 | 73 | 68 | | El suelo pasa de Franco | |
| Arcilla | 7–27 | 23 | 14 | 19 | | arcilloso arenoso un Franco | |
| Limo | 32–50 | 11 | 13 | 13 | | arenoso. | |

Nota. Para el post test, se usó la media de los datos evaluados.

No se observaron cambios significativos en las propiedades mecánicas del suelo (arcilla, arena y limo), ya que se mantiene como franco arcilloso.

Tabla 188

Efecto de los tratamientos sobre las propiedades químicas del suelo

| Indicador | Rango (ECA) | Inicial | Tratamiento | | Interpretación |
|----------------|-------------|---------|-------------|---------|---|
| | | | Bocashi | Biochar | |
| pH | 6,6-7,3 | 7.67 | 7.68 | 8.19 | Se aprecia que el tratamiento con bocashi se mantiene el nivel de pH, aunque con el biochar (por la alcalinidad) hay cambios se mantiene dentro del rango ECA. |
| CE | 4-8 | 0.16 | 1.42 | 0.66 | Considerando el rango ECA, el mayor incremento se da en el tratamiento con Bocashi y el biochar tiene menor efecto, y en ambos casos están muy debajo del rango. |
| M.O. % | 2 - 4 | 2.78 | 3.32 | 2.92 | La M.O. en los tratamientos tiene un incremento lo cual es notorio con el bocashi, y en ambos casos se mantienen en el rango medio del ECA. |
| N % | 0.1–0.2 | 0.14 | 0.31 | 0.15 | La presencia del porcentaje de Nitrógeno, se aprecia un incremento mayor en el tratamiento con bocashi, en el caso del biochar en mínimo, sin embargo, está dentro del rango. |
| C % | 1–5 | 1.61 | 1.92 | 1.69 | El incremento del porcentaje de C, es notorio en ambos tratamientos, aunque el bocashi tiene mayor incremento y ambos tratamientos quedan dentro del rango. |
| P ppm | 7–14 | 15.59 | 21.99 | 18.61 | Para el fosforo se aprecia con ambos tratamientos incremento notorios, sin embargo, en ambos casos excede el rango del ECA, |
| K ppm | 100 – 240 | 217.64 | 282.24 | 310.85 | Los tratamientos muestran incrementos en el potasio, siendo mayor el biochar lo cual excede el ECA, y más ideal el bocashi. |
| *CIC Meq/100 g | 20–35 | 10.17 | 13.89 | 16.31 | Ambos tratamientos muestran incrementos en el CIC, teniendo mayor proporción el biochar, aunque en ambos casos aún están por debajo del rango medio. |

Nota. Los datos interpretado con referencias de la Guía de Muestreo de suelos de Mendoza & Espinoza (2017) "P. 43-45", la interpretación del *CIC basado en el libro "Edafología: Uso y protección de Suelos (Porta et al., 2014, P. 123).

Los efectos de los tratamientos son notorios y favorables para el bocashi, aunque en ambos casos se aprecian cambios e incrementos en los indicadores evaluados, solo el bocashi mantiene el rango ideal del ECA, suelo.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al evaluar el efecto de las enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en la mejora de la calidad de un suelo degradado por el uso intensivo de pesticidas, Los resultados obtenidos demuestran que ambas enmiendas tuvieron un impacto positivo y significativo en la recuperación del suelo, al promover mejoras en sus propiedades fisicoquímicas y biológicas. En particular, se registró un aumento en la materia orgánica, mayor retención de humedad, una mejor capacidad de intercambio catiónico (CIC) y una reducción en la acidez del suelo; estos factores, en conjunto, favorecen la restauración de la fertilidad y la actividad microbiana.

Estos resultados confirman que la aplicación combinada de enmiendas orgánicas constituye una alternativa sostenible para la rehabilitación de suelos degradados, ya que no solo mejora su estructura y funcionalidad, sino que también potencia su capacidad de resiliencia frente a contaminantes químicos. En este sentido, Almela y Dolores (2021) destacan que la adición de fuentes orgánicas de calidad en suelos con climas semiáridos, acompañada de un manejo agronómico adecuado, representa una estrategia eficaz y sostenible para preservar y mantener en condiciones óptimas un recurso natural tan esencial como el suelo. La incorporación de enmiendas como el bocashi y el biochar, por tanto, no solo restaura la calidad edáfica, sino que también contribuye al equilibrio ecológico y a la sostenibilidad agrícola a largo plazo.

No se puede dejar de implementar estrategias ecológicas orientadas a la recuperación de los suelos degradados, especialmente aquellos afectados por el uso indiscriminado de pesticidas. En este contexto, las enmiendas orgánicas, como el bocashi y el biochar, se presentan como alternativas sostenibles que aprovechan los residuos orgánicos y, al mismo tiempo, contribuyen a la restauración de la calidad del suelo de forma ambientalmente responsable. Estas enmiendas no solo permiten reciclar materia orgánica de origen agroindustrial o forestal, sino que además mejoran la estructura,

fertilidad y actividad biológica del suelo, favoreciendo procesos naturales de regeneración.

Tal como señalan Corrales y Rosales (2022) la degradación del suelo impide que los cultivos se desarrollen adecuadamente, ya que limita la disponibilidad de nutrientes esenciales y reduce la capacidad del suelo para sostener el crecimiento vegetal. En consecuencia, los suelos degradados pierden su capacidad productiva y su equilibrio ecológico, generando un impacto directo sobre la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Por ello, el uso de enmiendas orgánicas como el bocashi y el biochar no solo mitiga los efectos negativos de la contaminación por pesticidas, sino que también promueve una agricultura más resiliente y sostenible, en armonía con los principios de la gestión ambiental y la conservación de los recursos naturales.

Al describir el efecto de las enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) sobre las propiedades físicas del suelo degradado por pesticidas, se evidencia que su incorporación generó cambios significativos en la estructura, textura y porosidad del suelo. La adición de bocashi aportó materia orgánica activa que favoreció la formación de agregados estables, mientras que el biochar actuó como un material poroso que mejoró la aireación, retención de humedad y capacidad de infiltración del agua, reduciendo la compactación y favoreciendo la circulación del oxígeno y el crecimiento radicular.

Estos cambios físicos son de gran relevancia, ya que permiten restaurar la funcionalidad edáfica y la capacidad productiva del suelo, creando condiciones más adecuadas para el desarrollo de las plantas. Como resultado del proceso de recuperación, el suelo que inicialmente presentaba una textura franca arcilloso arenosa evolucionó hacia una textura franco arenosa, caracterizada por un mejor drenaje, mayor permeabilidad y menor resistencia mecánica, lo que la convierte en una condición ideal para suelos agrícolas productivos.

Se observó una la estabilidad en el pH del suelo tras la aplicación de biochar, lo que sugiere un efecto neutralizante sobre la acidez generada por el uso prolongado de pesticidas. Esto coincide con estudios previos que

indican que el biochar actúa como un amortiguador del pH, favoreciendo un ambiente más estable para la actividad microbiana. El tratamiento con bocashi incrementó significativamente el contenido de materia orgánica en comparación con el suelo con biochar. Esta mejora es crucial para la regeneración del suelo, ya que la materia orgánica favorece la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas. El incremento de la materia orgánica se ve reflejado en los nutrientes NCPK, esto se sostiene en lo que menciona Aquino (2020) de su investigación en la que el biochar añadido pudo aumentar los niveles de nutrientes con respecto al suelo inicial. Concordando con el sustento de Castillo (2018) dado que por cada enmienda agregada al suelo se muestra una relación directa con el incremento de las concentraciones de nutrientes N,P,K, esenciales para la mejora físico química del suelo. Como también con las conclusiones de Cotrina et al. (2020) en la que sustenta que el Bocashi, mostró mejorar la concentración de los macronutrientes en el suelo, especialmente el nitrógeno, por lo que se sugiere el uso de Bocashi para mejorar los niveles de macronutrientes en el suelo.

Se observó una estabilidad en el pH del suelo tras la aplicación del biochar de eucalipto, lo que sugiere un efecto neutralizante sobre la acidez residual generada por el uso prolongado de pesticidas. Este comportamiento coincide con estudios previos que destacan la capacidad del biochar para actuar como un amortiguador del pH, gracias a su naturaleza alcalina y alta superficie específica, que favorecen la adsorción de iones y la regulación de la acidez. Dicho equilibrio químico resulta fundamental para mantener un ambiente edáfico adecuado para la actividad microbiana, promoviendo una mayor estabilidad y resiliencia del ecosistema del suelo.

Asimismo, el tratamiento con bocashi evidenció un incremento significativo en el contenido de materia orgánica en comparación con el suelo tratado con biochar. Este aumento es de gran importancia para la regeneración del suelo degradado, ya que la materia orgánica contribuye directamente a la retención de humedad, mejora la estructura del suelo,

estimula la actividad enzimática y aumenta la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas.

El incremento de la materia orgánica se reflejó en los niveles de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), nutrientes esenciales que intervienen en el crecimiento vegetal y en la mejora de las propiedades fisicoquímicas del suelo. Este hallazgo concuerda con lo expuesto por Aquino (2020) quien señala que la incorporación de biochar favorece el aumento de nutrientes en comparación con suelos degradados sin enmiendas. De manera similar, Castillo (2018) resalta que cada enmienda orgánica aplicada al suelo genera una relación directa con el incremento de las concentraciones de N, P y K, mejorando la fertilidad y capacidad productiva. Asimismo, Cotrina et al. (2020) concluyen que el bocashi mejora notablemente la concentración de macronutrientes, especialmente de nitrógeno, recomendando su uso como alternativa sostenible para optimizar la disponibilidad de nutrientes y recuperar la calidad edáfica en suelos deteriorados.

Al Describir el efecto de las enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) sobre las propiedades biológicas del suelo degradado por pesticidas. La presencia de microorganismos eficientes en el bocashi probablemente favoreció la degradación de residuos de pesticidas, contribuyendo a la mejora de la calidad biológica del suelo. En la cromatografía de la muestra inicial, resalta la ausencia de la zona central en la imagen cromatográfica lo cual es un indicador de un suelo pobre en actividad biológica y contenido de materia orgánica, al aplicar el bocashi y biochar se pudo obtener el color cremoso sugiere que hay una cantidad moderada a alta de materia orgánica en proceso de humificación, lo cual indica que el suelo tiene capacidad para retener nutrientes y mejorar su estructura.

CONCLUSIONES

La aplicación de bocashi y biochar de eucalipto tuvieron efecto de mejora significativamente la calidad del suelo degradado por pesticidas, ambas enmiendas orgánicas de manera similar. Los resultados sugieren que el Bocashi fue más efectivo que el Biochar sobre la calidad del suelo, especialmente en la disponibilidad de fósforo y la mejora de la CIC, parámetros fundamentales para la fertilidad de suelos degradados.

El efecto del bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) sobre las propiedades físicas del suelo degradado se refleja en el tipo textural en la que para ambos tratamientos varían de franco arcilloso arenoso a franco arenoso lo cual hace de suelo más productivo y favorable para el desarrollo de las plantas.

El efecto del bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) sobre las propiedades químicas del suelo, Los resultados mostraron que el tratamiento con Bocashi generó mejoras estadísticamente significativas en la conductividad eléctrica (CE), el fósforo disponible (P) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo. Estos efectos reflejan una mayor solubilización de nutrientes y mejoramiento de la capacidad del suelo para retener iones, lo que contribuye a una mayor fertilidad. En el caso del Biochar, los efectos significativos se observaron en la conductividad eléctrica (CE) y en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), aunque en menor magnitud en comparación con Bocashi. Esto indica que, si bien el Biochar contribuyó a la recuperación del suelo, su impacto fue limitado en algunas variables clave como el fósforo. Por otro lado, Indicadores como pH, materia orgánica (MO), nitrógeno (N), carbono (C) y potasio (K) no presentaron cambios estadísticamente significativos con ninguno de los tratamientos, lo que sugiere que para mejorar estos parámetros podrían requerirse aplicaciones más prolongadas o combinadas con otras prácticas de manejo.

El efecto del bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) sobre las propiedades biológicas considerando la cromatografía se aprecia un estímulo para un desarrollo normal, en la que para los tratamientos de puede apreciar que el bocashi tiene un mejor desempeño sobre los suelos degradados por pesticidas.

RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Realizar estudios comparación de estas enmiendas orgánicas frente a enmiendas artificiales que se suelen usar para mejorar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, conociendo cuál tienen mayor sostenibilidad.
- Para evaluar los beneficios y limitaciones del bocashi y el biochar en diferentes tipos de suelo y cultivos, se recomienda llevar a cabo estudios de largo plazo en la región. Estos estudios podrían aportar datos específicos sobre la efectividad de estas enmiendas en la restauración del suelo y en el aumento de la productividad agrícola.
- Respecto a los aspectos técnicos en la producción y uso adecuado de estas enmiendas orgánicas, realizar evaluaciones de laboratorio para conocer su concentración orgánico y mineral antes de aplicarlo a los suelos degradados.
- Para asegurar que el suelo mantenga sus mejoras a largo plazo, se recomienda establecer un monitoreo constante, aislar el lugar en la que se realizan las evaluaciones, evitando la actividad microbiana externa y la presencia de residuos de pesticidas. Esto permitirán ajustar la cantidad y frecuencia de aplicación de enmiendas según las necesidades del suelo.
- Fomentar el uso de materiales orgánicos de fácil acceso en Huánuco, como residuos agrícolas o forestales, para la elaboración de bocashi y biochar, podría reducir costos y hacer estas prácticas más accesibles para la comunidad agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, B. (2023). Abono Orgánico: Qué es, Tipos, Beneficios y Cómo hacerlo. *ecologiaverde.com*. <https://www.ecologiaverde.com/abono-organico-que-es-tipos-beneficios-y-como-hacerlo-1992.html>
- AEFA. (2023). Enmienda agrícola – AEFA – Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes. <https://aefa-agronutrientes.org/enmienda-agricola>
- Almela, C., & Dolores, M. (2021). Construyendo materia orgánica en suelos degradados bajo clima semiárido mediante el uso de enmiendas orgánicas [Universidad de Murcia]. <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/101951>
- Álvaro. (2019). El fósforo y su importancia en el crecimiento vegetal. *fertibox*. <https://www.fertibox.net/single-post/fosforo-agricultura>
- Aquino, K., & Franco, C. (2020). Biorremediación de suelo degradado por pesticida a partir de un sustrato (Biochar inoculado con microorganismos eficientes y lixiviados) [Universida de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/50336>
- Blanquer, G., Manuel, J., Asensio, I., & Ramón, M. (2010). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- Calvo, A. (2017). Análisis de suelos agrícolas: Guía práctica. *Agroptima*. <https://www.agroptima.com/es/blog/analisis-de-suelos-agricolas/>
- Campos, M. (2018). El uso de pesticidas en la agricultura y su desorden ambiental. <https://scholar.archive.org/work/2sxn6gkx5cw5gnto4vwgfhgni/access/wayback/https://revistas.unica.edu.pe/index.php/vanguardia/article/download/210/278>
- Castillo, M. (2018). Aplicación de enmiendas orgánicas y microorganismos eficientes para la mejora de la calidad del suelo en el anexo 22 –

Jicamarca 2018 [Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/28010>

Cho, Y. (2018). (español) JADAM Agricultura Ecológica (Segunda Edición): Haga sus propios PESTICIDAS NATURALES p. olerosos. El camino a la agricultura de costo ultra bajo. JADAM. <https://play.google.com/books/reader?id=zX0WEAAAQBAJ&pg=GBS.PA14&hl=es>

Corrales, M., & Rosales, I. (2022). Elaboración de enmiendas orgánicas y su aplicabilidad para la mejora de la calidad y capacidad productiva de suelos salinos de Chilca a escala piloto [Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/d4d66393-2222-4839-a0d8-13950016a050>

Coto, R. Á. G. (2022). Banano. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Cotrina, V., Alejos, I., Cotrina, G., Córdova, P., & Córdova, I. (2020). Efecto de abonos orgánicos en suelo agrícola de Purupampa Panao, Perú. Centro Agrícola, 47(2), 31-40.

Cremona, M. V., & Enriquez, A. S. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/209253>

EPA, O. (2019). Información básica sobre pesticidas [Overviews and Factsheets]. <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-pesticidas>

Eugenio, N. R., McLaughlin, M., de Adelaida, U., Pennock, D., Pierzynski, G. M., Montanarella, L., Steffensen, J. C., Bazza, Z., Vargas, R., Ünlü, K., Kohlschmid, E., Perminova, O., Tagliati, E., Ugarte, O. M., Khan, A., Pennock, L., Sala, M., Verbeke, I., & Stanco, G. (2019). La contaminación del suelo: Una realidad oculta. Leadell Pennock.

FAO. (2017). Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. <https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm>

- FAO. (2018a). Propiedades Biológicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-biologicas/es/>
- FAO. (2018b). Propiedades Físicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- FAO. (2021). Propiedades Químicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- García, C., Rosas, J., Sánchez, M., Pascual, J., & Hernández, T. (2014). Enmiendas orgánicas de nueva generación: Biochar y otras biomoléculas III.8. Ediciones Mundi-Prensa.
- Giner, P., & Vivas, M. A. (2020). Degradación de suelos. <https://riunet.upv.es/handle/10251/142676>
- Gines, N. G. (2013). Química agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. Ediciones Mundi-Prensa.
- Guardado, A. (2022). ¿Qué es el abono orgánico y cuáles son sus beneficios? - Blog Lamastore Abono Orgánico: Concepto, Tipos y Beneficios | Lamastore. Blog Lamastore. <https://www.lamastore.es/blog/abono-organico/>
- Hepp, C. (2017). Caracterización y propiedades de los suelos de la Patagonia occidental (AYSÉN). <https://puntoganadero.cl/punto-suelos/s-fertilidad/Materia%20Org%C3%A1nica/23>
- Hernández, J., Cuervo, R., Montañez, J., Hernández, N., Pérez, M., Cruz, A., & Chaires, L. (2021). BIODEGRADACIÓN DE PLAGUICIDAS ORGANOFOSFORADOS Y ORGANOCOLORADOS POR Candida

tropicalis Y *Stenotrophomonas maltophilia* EN MICROCOSMOS DEL SUELO. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 37. <https://doi.org/10.20937/rica.53889>

Hernández, & Mendoza. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa y mixta*. McGRAW-HILL.

Huaman, L. S., Diaz, K. A., Medrano, L. A., & Vargas, J. C. (2022). Densidad de suelos y contenido de humedad—Informe de trabajo de investigación densidad de los—Studocu. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-autonoma-de-tayacaja-daniel-hernandez-morillo/administracion-i/densidad-de-suelos-y-contenido-de-humedad/27860922>

Huaraca, J., & Pérez, L. (2019). Efecto del humus de lombriz, nutri abonaza y compost en la inmovilidad del cadmio en suelos con plantación del cacao de la Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga, Huánuco [Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1899>

INIA. (2022). MANUAL DE PRODUCCIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS PARA RESTABLECER LA FERTILIDAD DEL SUELO. https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/2030/1/P%C3%A9rez-et-al_2022_Enmiendas_Org%C3%A1nicas.pdf

INTAGRI. (2016). Los Abonos Orgánicos. Beneficios, Tipos y Contenidos Nutrimientales. <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/los-abonos-organicos-beneficios-tipos-y-contenidos-nutrimientales>

INTAGRI. (2019). Fijación de Potasio en el Suelo | Intagri S.C. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/fijacion-de-potasio-en-el-suelo>

IRD. (2023). Alerta por plaguicidas en el Perú. <https://lemag.ird.fr/es/alerta-por-plaguicidas-en-el-peru>

- Karlent, D., Mausbach, M., Doran, J., Cline, R., Harris, R., & Schuman, G. (1997). Soil quality: A concept, definition, and... - Google Académico. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Soil+quality:+A+concept,+definition+and+framework+for+evaluation&author=Karlen+D.+L.&author=Mausbach+M.+J.&author=Doran+J.+W.&author=Cline+R.+G.&author=Harris+R.+F.&author=Schuman+G.+E.&publication_year=1997&journal=Soil+Sci.+Soc.+Am.+J.&volume=61&pages=4-10
- Kumaragamage, D., Warren, J., & Spiers, G. (2022). 1.5: Química del Suelo. https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Ciencia_del_Suelo/Excavando_en_suelos_canadienses%3A_una_introducci%C3%B3n_a_la_ciencia_del_suelo/01%3A_Excavando/1.05%3A_Qu%C3%ADmica_del_Suelo
- Lehmann, & Joseph. (2015). Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. Routledge.
- Londoño, D. (2017). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. Lámpsakos, 17, 77-83.
- Lopez, M., Claret, P., & Casanellas, J. (2014). Edafología: Uso y protección de suelos (tercera edición). Editorial Paraninfo.
- Madrid, M. (2021). El Suelo: Composición, Estructura, Tipos e Importancia. Geoplaneta.Net. <https://geoplaneta.net/en/el-suelo-composicion-estructura-tipos-e-importancia/>
- Mendoza, R. B., & Espinoza, A. (2017). Guía Muestreo de Suelos (1.a ed.). Universidad Nacional Agraria.
- Mercedes, M., & Ortega, R. (2022). Propiedades físicas-hídricas del suelo y los efectos e interacciones con las comunidades microbianas—Mundoagro. <https://mundoagro.cl/propiedades-fisicas-hidricas-del-suelo-y-los-efectos-e-interacciones-con-las-comunidades-microbianas/>

- Modesto, G. (2023). Efecto del compost y microorganismos eficaces en la recuperación de suelos agrícolas degradados en el Distrito de Molino – Provincia de Pachitea – Departamento de Huánuco 2022 [Universidad de Huánuco]. <http://localhost:8080/xmlui/handle/20.500.14257/4244>
- Munive, R. (2018). Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de Stevia y fitorremediación [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3770>
- Naeth, M. A., Rutherford, P. M., & Jobson, A. M. (2022). 3.3: Recuperación de suelos y remediación de tierras perturbadas.
- Novillo, C. (2019). Qué es la Degradación del suelo: Causas y Consecuencias. [ecologiaverde.com](https://www.ecologiaverde.com). <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-degradacion-del-suelo-2075.html>
- OPS. (2022). Exposición a plaguicidas y sus efectos en la salud en América Latina y el Caribe—OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/eventos/webinario-exposicion-plaguicidas-sus-efectos-salud-america-latina-caribe>
- Pentón, Milera, Schmidt, & Armengol. (2021). Manual para la elaboración de biochar y microorganismos eficientes IHPLUS®BF.
- Perucontable. (2022). ¿Qué es la remediación ambiental y cuales son sus objetivos? Empresa. <https://www.perucontable.com/empresa/remediacion-ambiental/>
- Pizard, M. (2022). Huertas: Guía de prácticas agroecológicas biointensivas. Penguin Random House Grupo Editorial Uruguay.
- Porta, J., López, M., & Poch, R. (2014). Edafología: Uso y Protección de Suelos (Tercera Edición). Mundi-Prensa Libros.

Rines, C. M. (2022). La guía básica de jardinería para principiantes 2 libros en 1: Un manual simple para crecer vegetales, flores y plantas de bonsái en casa. Babelcube Inc.

Sánchez, & Ford. (2023). Informe de Prueba del Suelo del Túnel Alto: Materia Orgánica y Capacidad de Intercambio Catiónico. <https://extension.psu.edu/informe-de-prueba-del-suelo-del-tunel-alto-materia-organica-y-capacidad-de-intercambio-cationico>

Sánchez, G. (2013). Degradación de Suelos Agrícolas y el SIRSD-S. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2013/10/SueloAgricola201310.pdf>

Sarmiento, G. J., Amézquita, M. A., & Mena, L. M. (2019). Uso de bocashi y microorganismos eficaces como alternativa ecológica en el cultivo de fresa en zonas áridas. *Scientia Agropecuaria*, 10(1), 55-61. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.06>

Sepúlveda, F., & Céspedes, M. C. (2017). Preparación de Bocashi, un abono orgánico. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/67123>

SERFOR. (2018). Orientación para la Restauración de Ecosistemas forestales y otros Ecosistemas de vegetación silvestre (1.a ed.). <https://www.serfor.gob.pe/portal/wp-content/uploads/2018/11/GuiaRestauracion-A4-FINAL-OK.pdf>

Stevens, L. (2023). Introducción a los Suelos: La Calidad de los Suelos. <https://extension.psu.edu/introduccion-a-los-suelos-la-calidad-de-los-suelos>

Tratamiento de Suelos—EcuRed. (2023). https://www.ecured.cu/Tratamiento_de_Suelos

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Vargas Ampiche, C. E. (2026). *Efecto de enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (Eucalyptus globulus) en la mejora de calidad del suelo degradado por pesticidas, Huánuco - 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DE ASESOR

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 1223-2023-D-FI-UDH

Huánuco, 31 de mayo de 2023

Visto, el Oficio N° 410-2023-C-PAIA-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Ambiental y el Expediente N° 413639-0000002194, del Bach. **Cristian Erick VARGAS AMPICHE**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación (Tesis).

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45° inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 413639-0000002194, presentado por el (la) Bach. **Cristian Erick VARGAS AMPICHE**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), el mismo que propone al Mg. Joel Gamez Penadillo, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27° y 28° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero.- DESIGNAR, como Asesor de Tesis del Bach. **Cristian Erick VARGAS AMPICHE**, al Mg. Joel Gamez Penadillo, docente del Programa Académico de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería.

Artículo Segundo. - El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá de solicitar nuevamente el trámite con el costo económico vigente.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



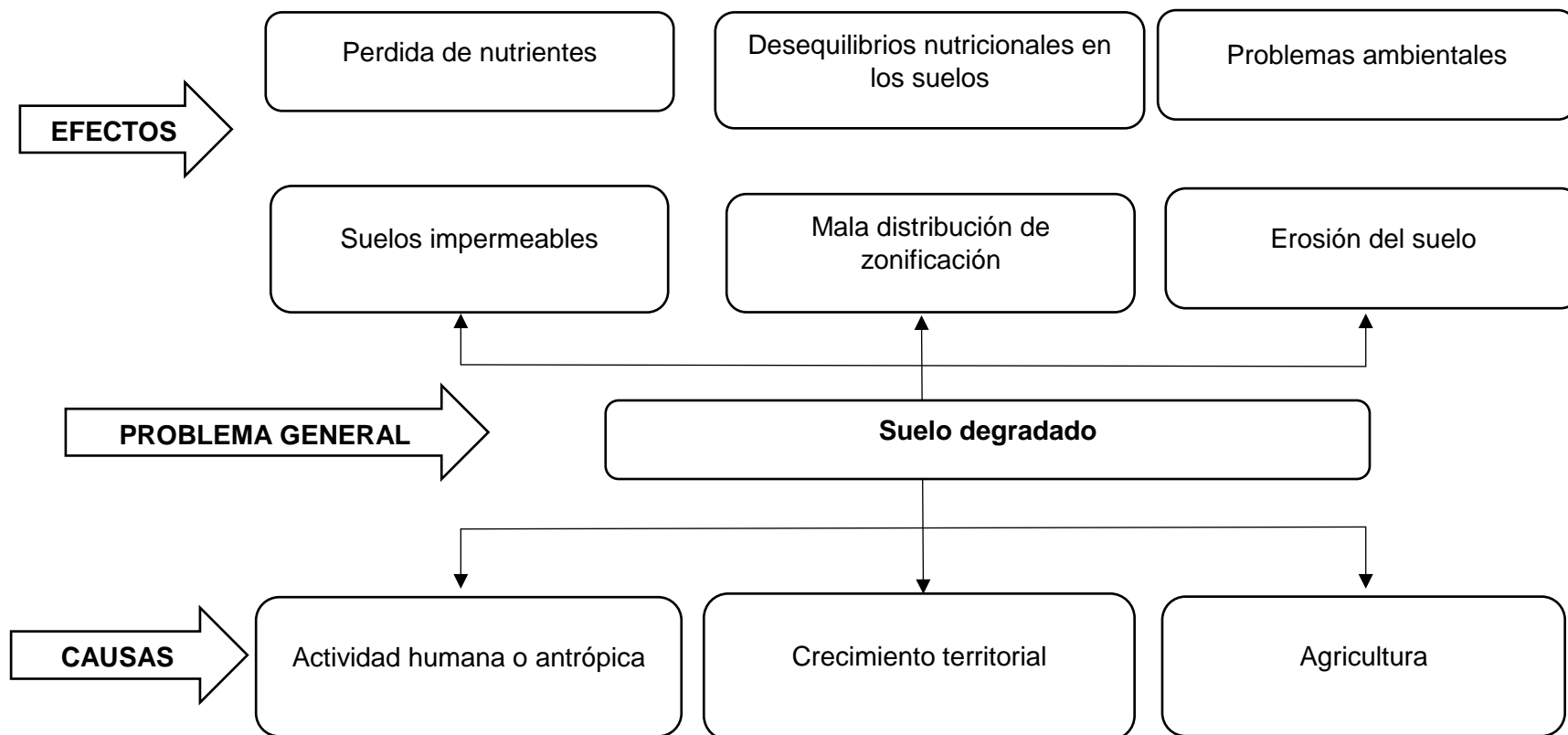
ANEXO 2

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “Efecto de enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en la mejora de calidad del suelo degradado por pesticidas, Huánuco – 2025”

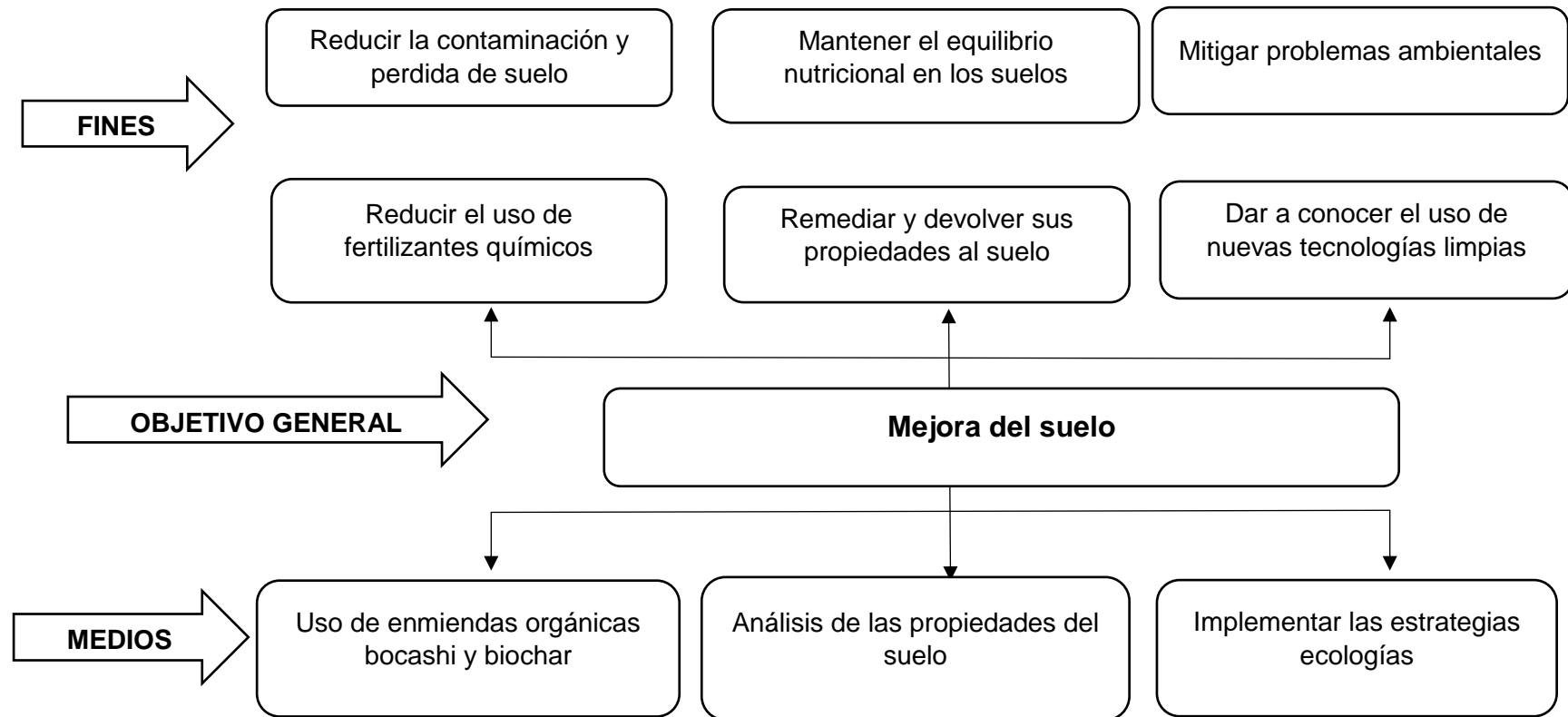
| Problema General | Objetivo General | Hipótesis | Variables | Metodología |
|--|---|--|--|---|
| <p>¿Cuál es el efecto del bocashi y biochar de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) en la mejora de calidad del suelo degradado por pesticidas, Huánuco – 2025?</p> | <p>Evaluar el efecto del bocashi y biochar de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) en la mejora de calidad del suelo degradado por pesticidas, Huánuco – 2025.</p> | <p>Las enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) tienen efecto en la mejora de calidad del suelo degradado por pesticidas, Huánuco – 2025.</p> | <p>Variable independiente. Enmiendas orgánicas Bocashi y Biochar</p> <p>INDICADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dosis • Tiempo <p>Variable dependiente. Suelos degradados por pesticidas.</p> <p>INDICADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> • pH • Conductividad • Materia orgánica • CIC • Nitrógeno • Potasio • Fosforo • Textura | <p>Tipo: Experimental por que se manipulan las variables.</p> <p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Nivel: Explicativo</p> <p>Diseño: Experimental</p> <p>Población: Localidad de Colpa baja</p> |
| PROBLEMAS ESPECÍFICOS | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las características físicas del suelo degradado por pesticidas antes y después de la aplicación de enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), Huánuco? • ¿Cuál es ¿Cuáles son las características químicas del suelo degradado por pesticidas antes y después de la aplicación de enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), Huánuco? • ¿Cuál es la efectividad vista en la técnica de cromatografía de las enmiendas orgánicas en la mejora de calidad del suelo degradado? | <ul style="list-style-type: none"> • Describir el efecto de las enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) sobre las propiedades físicas del suelo degradado por pesticidas. • Describir el efecto de las enmiendas orgánicas bocashi y biochar de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) sobre las propiedades químicas del suelo degradado por pesticidas. • Evaluar a través de la técnica de cromatografía la efectividad de las enmiendas orgánicas en la mejora de calidad del suelo degradado. | | | |

ANEXO 3
ÁRBOL DE CAUSAS Y EFECTOS



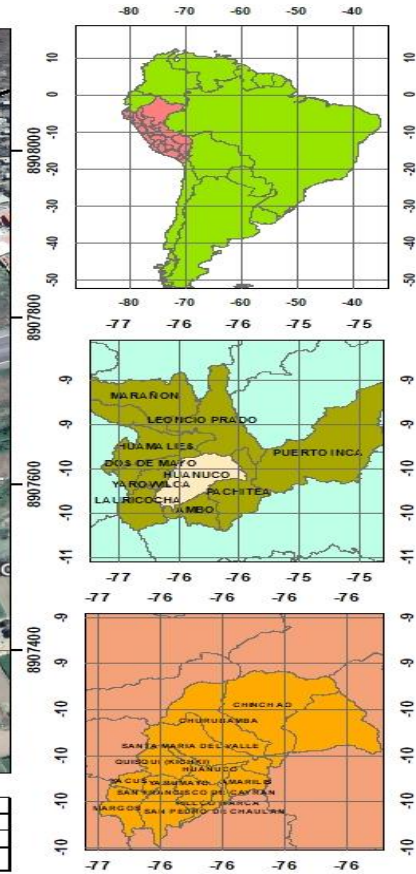
ANEXO 4

DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 5

MAPA DE UBICACIÓN Y DELIMITACIÓN POLÍTICA



PROYECTO
 "COMPARACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LOS MICROORGANISMOS
 EFICIENTES Y BOGASH EN LA RESTAURACIÓN DE SUELOS
 DEGRADADOS EN LA LOCALIDAD DE COLPA BAJA, HUANUCO - 2023"

UBICACIÓN
 REGIÓN: HUANUCO
 PROVINCIA: HUANUCO
 DISTRITO: HUANUCO
 LUGAR: COLPA BAJA

ESPECIALIDAD
 GENERAL

MAPA
 MAPA DE UBICACIÓN Y DELIMITACIÓN POLÍTICA

ELABORADO
 CRISTIAN ERICK VARGAS AMPICHE

FECHA
 16/07/2023

ESCALA
 1:5,000



ANALISIS DE SUELOS



| | | | |
|--------------|-------------------------------|-------------------|------------|
| SOLICITANTE: | CRISTIAN ERICK VARGAS AMPICHE | FECHA DE REPORTE: | 14/11/2024 |
| PROCEDENCIA: | HUANUCO | MUESTRA: | SUELO |
| REFERENCIA: | | RECIBO N°: | 84058757 |

| N° | DATOS | | ANALISIS FISICO | | | | | ANALISIS QUIMICO | | | | | ANALISIS QUÍMICO | | | | | | | | | | | |
|----|----------|--------|-----------------|---------|------|----------------|------|------------------|-------|----------|------------|------------------|------------------|----------|---------|-------|----------|-----------|-------|------------------|------------------|------------------------|-------|-------|
| | | | Arena | Arcilla | Limo | CE | pH | Materia Orgánica | N | C | P | K ₂ O | Ca | Mg | K | Na | Al | H | CICe | Bases Cambiables | Acidez Cambiable | Saturación de Aluminio | | |
| | | | Ao | Ar | Lo | Clas. Textural | dBln | MO. | total | Orgánico | disponible | CIC | Calcio | Magnesio | Fosforo | Sodio | Aluminio | Hidrogeno | | | | | | |
| | | | CMO | CMO | % | % | % | 1:1 | 1:1 | % | % | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | |
| 7 | S24-1265 | PM - 1 | 73 | 13 | 14 | Franco Arenoso | 1.33 | 7.51 | 3.36 | 0.168 | 1.948 | 23.426 | 124.496 | 11.700 | 9.340 | 1.160 | 1.036 | 0.164 | 0.000 | 0.000 | --- | 100.000 | 0.000 | 0.000 |
| 8 | S24-1266 | PM - 2 | 73 | 15 | 12 | Franco Arenoso | 1.50 | 7.72 | 3.69 | 0.185 | 2.143 | 22.212 | 205.312 | 13.447 | 10.510 | 1.309 | 1.462 | 0.166 | 0.000 | 0.000 | --- | 100.000 | 0.000 | 0.000 |
| 9 | S24-1267 | PM - 3 | 77 | 13 | 10 | Franco Arenoso | 1.54 | 8.01 | 3.31 | 0.166 | 1.920 | 22.605 | 275.655 | 16.119 | 12.570 | 1.555 | 1.823 | 0.171 | 0.000 | 0.000 | --- | 100.000 | 0.000 | 0.000 |
| 10 | S24-1268 | PM - 4 | 71 | 15 | 14 | Franco Arenoso | 1.37 | 7.89 | 3.21 | 0.161 | 1.865 | 23.997 | 250.028 | 12.722 | 9.550 | 1.151 | 1.701 | 0.021 | 0.000 | 0.000 | --- | 100.000 | 0.000 | 0.000 |
| 11 | S24-1269 | PM - 5 | 73 | 15 | 12 | Franco Arenoso | 2.21 | 7.46 | 4.41 | 0.221 | 2.580 | 24.149 | 315.521 | 17.992 | 13.970 | 1.746 | 2.109 | 0.187 | 0.000 | 0.000 | --- | 100.000 | 0.000 | 0.000 |
| 12 | S24-1270 | PM - 6 | 71 | 15 | 14 | Franco Arenoso | 0.56 | 7.46 | 1.92 | 0.096 | 1.113 | 15.573 | 622.423 | 11.361 | 8.440 | 1.155 | 0.620 | 0.167 | 0.000 | 0.000 | --- | 100.000 | 0.000 | 0.000 |

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras enviadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LA.SAE.
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 ALBERTO MORGAN YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



ANEXO 7

PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1

Área de ejecución del proyecto



Fotografía 2

Preparación del terreno para la ejecución del proyecto



Fotografía 3

Delimitación del área de desarrollo del proyecto



Fotografía 4

Muestra de suelo antes de incorporar enmiendas orgánicas



Fotografía 5

Elaboración de Bocashi para bioestimular el suelo



Fotografía 6

Bocashi listo para ser añadido al suelo



Fotografía 7

Elaboración de Biochar de Eucalipto



Fotografía 8

Biochar de Eucalipto listo para ser utilizado



Fotografía 9

Recipientes para grupos experimentales por tipo enmienda



Fotografía 10

Enmiendas ya combinadas con el suelo a trabajar



Fotografía 11

Visita del jurado al proyecto. Mg. Frank Cámara Llanos



Fotografía 12

Muestra final del suelo para el análisis en laboratorio

