

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

“Comparación de la eficacia remediadora del abono orgánico y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivo de eucalipto (*Eucalyptus*)”

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

AUTOR: Garay Bonifacio, Akemy Jhuleit

ASESOR: Morales Aquino, Milton Edwin

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, Geología.

DATOS DEL PROGRAMA:

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

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Garay Bonifacio, Akemy Jhuleit (DNI): 70864835

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44342697

Grado/Título: Magister en gestión ambiental y desarrollo sostenible

DATOS DE LOS JURADOS:

Código ORCID: 0000-0002-2250-3288

D

H

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Camara Llanos, Frank	Doctor en ciencias de la salud	44287920	0000-0001-9180-7405
2	Arteaga Vega, Adderlin	Doctor en Gestión Empresarial	46018561	0000-0003-2701-0594
3	Inga Caqui, Jhendy Milagros	Maestro en: medio ambiente y desarrollo sostenible	72361661	0009-0006-2217-1494



UNIVERSIDAD DE HUANUCO

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 12:00 horas del día 25 del mes de junio 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. Frank Erick Camara Llanos (Presidente)
- Dr. Adderlin Arteaga Vega (Secretario)
- Mg. Jhendy Milagros Inga Caqui (Vocal)

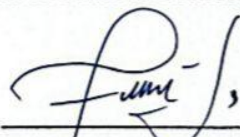
Nombrados mediante la **Resolución N° 1056-2026-D-FI-UDH** para evaluar la Tesis intitulada: **"COMPARACIÓN DE LA EFICACIA REMEDIADORA DEL ABONO ORGÁNICO Y EL BIOCARBÓN DE CUYINAZA EN LA RECUPERACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO EROSIONADO POR CULTIVO DE EUCALIPTO (EUCALYPTUS)"**, presentado por el (la) Bach. **GARAY BONIFACIO, AKEMY JHULEIT** 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) aprobada Por unanimidad con el calificativo cuantitativo de 13 y cualitativo de suficiente (Art. 47)

Siendo las 13:00 horas del día 25 del mes de junio del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


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


Dr. Adderlin Arteaga Vega
DNI: 46018561
ORCID: 0000-0003-2701-0594
Secretario


Mg. Jhendy Milagros Inga Caqui
DNI: 72361661
ORCID: 0009-0006-2217-1494
Vocal



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: **AKEMY JHULEIT GARAY BONIFACIO**, de la investigación titulada "**Comparación de la eficacia remediadora del abono orgánico y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivo de eucalipto (Eucalyptus)**", con asesor(a): **MILTON EDWIN MORALES AQUINO**, designado(a) mediante documento: **RESOLUCIÓN N° 1468-2025-D-FI-UDH** del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del **18 %** 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, 28 de mayo de 2026



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

Nota: La presente constancia tendrá una vigencia de cuatro (4) meses, conforme a lo establecido en la **Directiva del Software de Identificación de Similitud y Originalidad**, aprobada mediante **Resolución N° 532-2024-P-CD-UDH**.

Vencido dicho plazo, el solicitante deberá realizar nuevamente el procedimiento correspondiente para la emisión de una nueva constancia.

Válida hasta el 28 de septiembre de 2026.

103. AKEMY JHULEIT GARAY BONIFACIO.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

4%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

3

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

www.repositorio.unasam.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.uta.edu.ec

Fuente de Internet

1%



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

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación, en primer lugar, a mi Dios Todopoderoso por brindarme sabiduría, fortaleza y perseverancia para culminar una etapa importante de mi formación profesional. A mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y confianza constante a lo largo de este proceso académico. Asimismo, brindo cada estrofa de este trabajo a la persona que fue el motivo para dar inicio con esta investigación y me motivó alcanzar mis objetivos, siempre estará presente mi corazón “A”.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial a la Universidad y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por brindarme la formación académica necesaria y los conocimientos que hicieron posible el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Expreso mi sincero agradecimiento a mi asesor de tesis, por su orientación, apoyo y valiosas recomendaciones durante todas las etapas del estudio.

Asimismo, agradezco a los docentes de la carrera por los conocimientos impartidos y la formación ética y profesional recibida.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a las personas e instituciones que facilitaron el acceso a la información, materiales y espacios necesarios para la ejecución del estudio, así como a quienes me brindaron su apoyo moral y motivacional durante el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUCCION	XI
CAPÍTULO I.....	12
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	14
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	14
1.3. OBJETIVOS.....	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION	16
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	16
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	18
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	20
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	22

2.2. BASES TEÓRICAS REMEDIACIÓN	25
2.2.1. TIPOS DE BIORREMEDIACIÓN.....	25
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	56
2.4. HIPÓTESIS.....	58
2.4.1. HIPOTESIS GENERAL	58
2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	59
CAPÍTULO III	60
METODOLOGÍA	60
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	60
3.1.1. ENFOQUE	60
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	61
3.1.3. DISEÑO	61
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	62
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	66
3.3.1. PARA LA RECOLECCION DE DATOS	67
3.3.2. PARA LA PRESENTACION DE DATOS.....	73
3.3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	74
CAPITULO IV.....	75
RESULTADOS.....	75
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	75
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	93
4.2.1. HIPÓTESIS GENERAL	93
CAPÍTULO V.....	100
DISCUSION DE RESULTADOS.....	100
CONCLUSIONES	103
RECOMENDACIONES.....	105
REFERENCIAS	106

ANEXOS.....	117
-------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Compuestos químicos en hojas y suelos bajo plantaciones de Eucalyptus.....	36
Tabla 2 Comparación de la eficacia remediadora del abono orgánico y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivo de eucalipto (Eucalyptus)	59
Tabla 3 Cuadro de Instrumentos o recursos.....	66
Tabla 4 Proporciones de aplicación de abono orgánico y biocarbón de cuyinaza en el suelo.....	70
Tabla 5 Resultados del análisis del parámetro físico pre y post tratamiento	75
Tabla 6 Parámetros químicos	77
Tabla 7 Parámetros biológicos.....	87
Tabla 8 Análisis de normalidad para el parámetro físico del abono orgánico	89
Tabla 9 Análisis de normalidad para el parámetro químico del abono orgánico	90
Tabla 10 Análisis de normalidad para el parámetro biológico del abono orgánico	91
Tabla 11 Análisis de normalidad para el parámetro físico del biocarbon de cuyinaza.....	91
Tabla 12 Análisis de normalidad para el parámetro químico del biocarbon de cuyinaza.....	92
Tabla 13 Análisis de normalidad para el parámetro biológico del biocarbon de cuyinaza.....	92
Tabla 14 Prueba de no normalidad para el parámetro físico del abono orgánico	93
Tabla 15 Análisis de no normalidad para el parámetro físico del biocarbon de cuyinaza.....	94

Tabla 16 Análisis de no normalidad para el parámetro químico del abono orgánico	95
Tabla 17 Análisis de no normalidad para el parámetro químico del biocarbon de cuyinaza.....	96
Tabla 18 Análisis de no normalidad para el parámetro biológico del abono orgánico	97
Tabla 19 Análisis de no normalidad para el parámetro biológico del biocarbon de cuyinaza.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Follaje de eucalipto	33
Figura 2 Planta de eucalipto en crecimiento.....	34
Figura 3 Área de plantaciones de eucalipto.....	35
Figura 4 Bosque de eucalipto.....	35
Figura 5 Flujograma de Procedimiento exper.....	73
Figura 6 Comportamiento del parámetro de la humedad.....	76
Figura 7 Comportamiento del parámetro de la humedad.....	78
Figura 8 Comportamiento del parámetro de la humedad.....	79
Figura 9 Comportamiento del parámetro de la humedad.....	80
Figura 10 Comportamiento del parámetro de la humedad.....	81
Figura 11 Comportamiento del parámetro de la humedad.....	82
Figura 12 Comportamiento del parámetro de la humedad.....	83
Figura 13 Comportamiento del parámetro de la humedad.....	84
Figura 14 Comportamiento del parámetro de la humedad.....	85
Figura 15 Comportamiento del parámetro de la humedad.....	86
Figura 16 Comportamiento del parámetro de la humedad.....	87
Figura 17 Análisis de rendimiento del cultivo.....	88

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo comparar la eficacia remediadora del abono orgánico y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivos de *Eucalyptus*.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y con un diseño experimental verdadero, empleando un grupo control y dos grupos experimentales evaluados mediante un esquema pre test y post test.

La población estuvo conformada por 100 m² de suelo degradado, mientras que la muestra correspondió a 10 m². Se aplicaron tratamientos con abono orgánico y biocarbón de cuyinaza en diferentes niveles (T1–T5), evaluándose parámetros físicos, químicos y biológicos.

Los resultados evidenciaron una mejora progresiva en todos los parámetros analizados en comparación con el grupo control. El abono orgánico mostró mayor eficacia en la retención de humedad (hasta 76 %), incremento de materia orgánica (4.65 %), disponibilidad de nutrientes y actividad microbiana (1100 mg C/kg), mientras que el biocarbón destacó en la regulación del pH y la reducción de la conductividad eléctrica.

El análisis estadístico, realizado mediante la prueba de Shapiro-Wilk, evidenció que los datos no seguían una distribución normal ($p < 0.05$), por lo que se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas en todos los parámetros evaluados ($p < 0.05$), lo que permitió rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, confirmando que existe diferencia en la eficacia remediadora entre ambos tratamientos.

En conclusión, tanto el abono orgánico como el biocarbón de cuyinaza son efectivos para la recuperación de suelos degradados por cultivos de eucalipto; sin embargo, el abono orgánico presentó una mayor eficacia global, mientras que el biocarbón actuó como un mejorador específico de las propiedades químicas del suelo.

Palabras clave: abono orgánico, biocarbón, cuyinaza, calidad del suelo, eucalipto.

ABSTRACT

The present research aimed to compare the remediation effectiveness of organic fertilizer and guinea pig manure biochar (cuyinaza) in the recovery of soil quality degraded by *Eucalyptus* cultivation.

The study was conducted under a quantitative approach, applied type, and a true experimental design, using one control group and two experimental groups evaluated through a pre-test and post-test scheme. The population consisted of 100 m² of degraded soil, while the sample corresponded to 10 m². Treatments with organic fertilizer and cuyinaza biochar were applied at different levels (T1–T5), evaluating physical, chemical, and biological soil parameters.

The results showed a progressive improvement in all evaluated parameters compared to the control group. Organic fertilizer demonstrated greater effectiveness in moisture retention (up to 76%), increase in organic matter (4.65%), nutrient availability, and microbial biomass (1100 mg C/kg). On the other hand, biochar stood out for its role in pH regulation and reduction of electrical conductivity.

Statistical analysis using the Shapiro–Wilk test indicated that the data did not follow a normal distribution ($p < 0.05$), leading to the use of the non-parametric Kruskal–Wallis test. The results revealed statistically significant differences across all evaluated parameters ($p < 0.05$), allowing rejection of the null hypothesis and acceptance of the alternative hypothesis, confirming that there is a difference in remediation effectiveness between both treatments.

In conclusion, both organic fertilizer and cuyinaza biochar are effective for the recovery of soils degraded by *Eucalyptus* cultivation; however, organic fertilizer showed greater overall effectiveness, while biochar functioned as a specific enhancer of soil chemical properties.

Keywords: organic amendment, biochar, guinea pig manure, soil quality, *Eucalyptus*.

INTRODUCCION

La degradación del suelo constituye uno de los principales problemas ambientales asociados a las actividades productivas, especialmente aquellas relacionadas con sistemas de monocultivo forestal como el eucalipto, los cuales pueden generar procesos de erosión, pérdida de nutrientes y disminución de la actividad biológica del suelo. Esta situación compromete la sostenibilidad de los ecosistemas y la productividad agrícola.

En este contexto, el uso de enmiendas orgánicas se presentó como una estrategia viable y sostenible para mejorar las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo. Entre estas alternativas destacan el abono orgánico y el biocarbón, elaborados a partir de residuos de origen animal, como la cuyinaza, los cuales permiten valorizar subproductos agropecuarios y reducir impactos ambientales asociados a su disposición inadecuada. El abono orgánico aporta materia orgánica y nutrientes de rápida disponibilidad, mientras que el biocarbón se caracteriza por su estabilidad, capacidad de retención de nutrientes y efecto regulador del pH del suelo.

A nivel internacional, nacional y local, diversos estudios han demostrado el potencial de estas enmiendas para la recuperación de suelos degradados; sin embargo, aún existe limitada información comparativa sobre su eficacia remediadora en suelos erosionados por cultivos de eucalipto, particularmente bajo condiciones locales específicas. Por ello, surge la necesidad de evaluar y contrastar el efecto del abono orgánico de cuyinaza y el biocarbón de cuyinaza sobre indicadores clave de calidad del suelo y rendimiento del cultivo.

En ese sentido, la presente investigación tuvo como finalidad comparar la eficacia remediadora de ambos tratamientos, contribuyendo al fortalecimiento del conocimiento científico y proporcionando información técnica que permita orientar estrategias de manejo sostenible de suelos degradados, promoviendo prácticas ambientalmente responsables y productivamente eficientes.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El suelo es considerado uno de los más relevantes recursos naturales que hay en el planeta, debido a que cumple un papel sumamente importante en el crecimiento de vida de todas las especies y en el sostenimiento de diversas actividades humanas. Se define como la capa superficial de la corteza terrestre, compuesta por minerales, materia orgánica, agua y aire, donde interactúan factores físicos, químicos y biológicos que determinan su estructura y fertilidad. Asimismo, el suelo constituye un ecosistema complejo que influye en la productividad y en la provisión de servicios ambientales esenciales, por lo que su conservación y restauración deben ser priorizadas para garantizar su sostenibilidad (FAO, 2008).

En la actualidad, tenemos suelos degradados a causa de diversas amenazas como la falta de nutrientes, la disminución del carbono orgánico entre otras a nivel mundial, específicamente en las regiones pertenecientes a África Occidental, Sudamérica y parte del Este de Europa. (FAO, 2015).

Conforme se da el crecimiento demográfico, se intenta satisfacer todas las necesidades de la población, quitando el tiempo que necesitan los suelos para su recuperación, es decir, vuelvan a su estado original. En la pérdida de la fertilidad del suelo en la parte Sur del Sahara, se pierde el 46% de su capacidad, afectando distintos factores físicos. (Encina, 2003).

A nivel Nacional, el monocultivo es uno de las causas que generan la pérdida de fertilidad del suelo, ya que se siembra una sola especie cada año, lo que trae como efecto el agotamiento del suelo, facilitando el ingreso de todo tipo de plagas. Dentro del territorio peruano el 7% se ve amenazado por el deterioro. Perú posee 128.5 millones de hectáreas aproximadamente de superficie y espacio, gran parte se encuentra con problemáticas debido a la salinización, desertificación y la erosión intensa. 7% del territorio peruano cuenta con sectores fértiles, indicando que la fortaleza del ámbito agropecuario es muy escasa, los suelos de la parte sierra son amenazados

por la erosión, tierras amazónicas, por la disminución de la fertilidad y la zona costera a la salinización (MINAGRI, 2018).

En zonas altoandinas del Perú, como Huariaca, el uso de plantaciones de eucalipto (***Eucalyptus globulus***) es frecuente debido a su rápida adaptación y capacidad para cubrir suelos degradados, lo que contribuye a disminuir procesos de erosión en laderas. Sin embargo, diversos estudios han demostrado que esta especie puede generar efectos negativos sobre la calidad del suelo. En este sentido, señalan que los suelos bajo plantaciones de eucalipto presentan menores niveles de fertilidad en comparación con especies nativas, evidenciándose limitaciones en parámetros como el contenido de materia orgánica, nutrientes y capacidad de intercambio catiónico. Esto indica que, aunque el eucalipto cumple un rol importante en la protección contra la erosión, su uso en monocultivo puede contribuir a la degradación progresiva del suelo si no se maneja adecuadamente (Espinoza, 2020).

Huariaca es una localidad que se encuentra rodeada por extensas hectáreas de eucalipto, el ambiente resalta el intenso aroma de los eucaliptos, cubren más del 80% de los cerros exhibiendo un panorama verde, cuenta con una buena diversidad de flora y fauna silvestre, albergando a todo tipo de hierbas medicinales en su amplia variedad. (Berrospi, 2012).

Se desarrolló un proyecto que buscó reforestar las áreas que no son aprovechables para la agricultura específicamente 50 hectáreas, a la vez aportar una alternativa eficaz para moderar los impactos que hay en el ambiente, generando una buena calidad de suelos y a la vez mejorando los niveles de oxígeno para la población huariaqueña en general, estos estarán ubicados en las partes altas del distrito, su objetivo principal de dicha ubicación es que se evite el contacto con las personas que se dedican a la ganadería y se termine dañando las plantaciones. El deterioro de la superficie terrestre, genera la dispersión de la fauna en sus distintas especies y la alta mortalidad de la vegetación. En temas de agricultura los sembríos tendrían poca posibilidad de brotar en dicho suelo. Dándose efectos desfavorables en la economía de los productores agrícolas y causando mayor contaminación medioambiental por suelos degradados y falta de flora. (Gobierno Regional

Pasco,2020).

Ante la problemática identificada, la presente investigación tuvo como finalidad la elaboración de biofertilizantes, específicamente abono orgánico y biochar a partir de cuyinaza, como una opción viable, eficiente y de un costo muy accesible para la recuperación de suelos erosionados . Esta propuesta se sustenta en el uso de materia orgánica, la cual ha demostrado efectos positivos en la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, incrementando la disponibilidad de nutrientes y favoreciendo su regeneración. Asimismo, aunque existen limitadas investigaciones sobre el uso del estiércol de cuy, este presenta un alto potencial como insumo para la producción de biofertilizantes. En este contexto, el empleo de materiales accesibles permite restaurar la fertilidad del suelo afectado por actividades antrópicas, como el cultivo extensivo de eucalipto en el distrito de Huariaca, facilitando además su adopción por parte de la población local debido a la disponibilidad del recurso (Aimituma-Franco et al., 2023).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la eficacia remediadora del abono orgánico y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (***Eucalyptus***)?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuáles son los parámetros físicos del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (***Eucalyptus***) antes y después de la aplicación del abono orgánico y biocarbón de cuyinaza?

¿Cuáles son los parámetros químicos del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (***Eucalyptus***) antes y después de la aplicación del abono orgánico y biocarbón de cuyinaza?

¿Cuáles son los parámetros biológicos del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (***Eucalyptus***) antes y después de la aplicación del abono orgánico y biocarbón de cuyinaza?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Comparar la eficacia remediadora del abono orgánico y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (***Eucalyptus***).

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir los parámetros físicos del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (***Eucalyptus***) antes y después de la aplicación del abono orgánico y biocarbón de cuyinaza.

Describir los parámetros químicos del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (***Eucalyptus***) antes y después de la aplicación del abono orgánico y biocarbón de cuyinaza.

Describir los parámetros biológicos del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (***Eucalyptus***) antes y después de la aplicación del abono orgánico y biocarbón de cuyinaza.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Con el fin de restaurar la fertilidad del suelo en la localidad de Huariaca y lo que se busca es ocasionar un impacto positivo de forma intencional, tanto en la población como en los servicios ecosistémicos, se planteó la necesidad de utilizar biofertilizantes obtenidos a partir de la cuyinaza y el biocarbón de cuyinaza. Esta práctica busca ser sostenible para la producción de alimentos. La comparación entre estos dos fertilizantes, derivados del estiércol del cuy, ha sido elegida debido a su disponibilidad abundante y su escaso uso sostenible hasta ahora. De esta manera, no solo se recuperarán los suelos, sino que también se daría un uso responsable a la cuyinaza. Esta iniciativa beneficiará a los agricultores del distrito de Huariaca al restaurar la fertilidad y sostenibilidad de los suelos. Además, una vez que se lleve a cabo este proyecto de investigación, se establecerá una referencia para futuros estudios y su aplicación en otros distritos con características similares.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

- **Condiciones climáticas variables:** Las condiciones climáticas cambiantes afectaron la estabilidad temporal de los suelos y la efectividad de los polímeros aplicados.
- **Muestras de laboratorio:** Para la determinación de la concentración de los parámetros físicos, químicos y biológicos de la fase de análisis del pre y post tratamiento de las muestras fue necesario emplear un laboratorio de suelos, el cual no cuenta la Universidad de Huánuco, por lo que se optó por el traslado de las muestras al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- **Accesibilidad al terreno:** La durante la fase de ejecución del proyecto de investigación se tuvo los imprevistos de poder llegar a la zona de estudio siendo que no es una zona con ruta de transporte público y las condiciones climáticas afectaron la accesibilidad con movilidad por la trocha carrozable.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación es factible por lo siguiente:

- Viabilidad ambiental, es una manera sostenible de emplear el estiércol de cuy y este ya no será un residuo desechado que expulse gases, sino que a esta materia le daremos un segundo uso en la elaboración del biochar y el abono orgánico.
- Viabilidad social, servirá a que los agricultores de la zona tengan mejores resultados en recuperar los suelos degradados, empleando biofertilizantes elaborado por ellos mismo, para un mejor empleo de los cultivos.
- Viabilidad económica, la materia prima de la investigación es un recurso que fácilmente se encuentra y que gran parte de la población lo posee, por ello la obtención de los biofertilizantes es de alcance universal.
- Viabilidad metodológica, el estudio realizado brindará aportes para

futuras investigaciones en cuanto a la elaboración de biofertilizantes para recuperar suelos degradados.

- Viabilidad técnica, el proceso de elaboración del biochar y del abono orgánico a partir del estiércol de cuy es factible, ya que no requiere de tecnologías complejas, puede ser desarrollado con equipamiento básico accesible para los agricultores, y su aplicación en los cultivos es sencilla y adaptable a diferentes condiciones agrícolas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Espejo et al. (2021) En su tesis titulada Biofertilizante de estiércol de cuy para la recuperación de un suelo franco degradado. Revista Transacciones de ingeniería química, en Italia tuvo como objetivo de esta investigación fue determinar la recuperación de la fertilidad de un suelo franco degradado mediante la aplicación de un biofertilizante obtenido a partir de estiércol de cuy. Para ello, se aplicaron 3 dosis diferentes de biofertilizante: BF 0.1 L (100 ml de biofertilizante + 500 ml de agua destilada), BF 0.2 L (200 ml de biofertilizante + 500 ml de agua destilada) y BF 0.3 L (300 ml de biofertilizante + 500 ml de agua destilada). Los resultados mostraron que la dosis BF 0.3 L fue la más efectiva y obtuvo mejores valores de recuperación de Nitrógeno (2 %), Fósforo (26.92 mg/kg) y Potasio (385.90 mg/kg). Se concluye que el biofertilizante es eficaz para la recuperación de la fertilidad de un suelo franco degradado y puede ser ampliamente utilizado por los agricultores debido a su fácil elaboración y a que resulta económicamente accesible.

Valdés Hernández et al. (2023). En su investigación Uso del vermicompost y compost en la recuperación de suelos degradados de pastizales naturales en el Peñón, Temascaltepec Estado de México, Universidad Autónoma del Estado de México, México. Su investigación tuvo como objetivo de evaluar el efecto del vermicompost, compost y abonos verdes en la recuperación de suelos degradados de pastizales naturales, considerando propiedades físicas y químicas del suelo. La metodología empleada fue de enfoque experimental, utilizando un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Se establecieron microparcels de 1.5 × 1.5 m, aplicando tratamientos como abono verde, vermicompost, compost y un testigo sin tratamiento.

Se evaluaron variables físicas (textura, densidad, porosidad) y químicas (materia orgánica, carbono orgánico, pH y nitrógeno), analizadas mediante ANOVA y prueba de Tukey ($p < 0.05$). Los resultados evidenciaron que la aplicación de abonos orgánicos mejoró significativamente las propiedades del suelo, destacando la disminución de la densidad aparente, el incremento del carbono orgánico hasta en 67.68% y el aumento de la materia orgánica. Asimismo, se observaron cambios favorables en el pH y en la disponibilidad de nutrientes. Se concluye que el uso de vermicompost y compost contribuye de manera significativa a la recuperación de suelos degradados, mejorando sus propiedades físicas y químicas, lo cual favorece la fertilidad del suelo y reduce los efectos de la erosión en los pastizales.

Miyamoto et al. (2022). En su investigación Análisis estructural multiómico basado en matrices de calidad agrícola de zanahorias en suelos fertilizados con compost fermentado por termófilos. Universidad Cornell, Japón. Desarrollaron un estudio con el objetivo de analizar el efecto del compost fermentado con bacterias termófilas en la calidad del suelo y en el crecimiento y calidad nutricional de la zanahoria, utilizando un enfoque integral basado en técnicas multi-ómicas. La metodología se basó en un enfoque experimental con análisis multi-ómico, evaluando simultáneamente variables del suelo, la planta (hoja y raíz) y los microorganismos. Se aplicó compost al suelo y se analizaron cambios mediante herramientas estadísticas avanzadas como modelamiento de ecuaciones estructurales (SEM) para identificar relaciones entre microorganismos, metabolitos y crecimiento vegetal. Los resultados evidenciaron que la aplicación de compost incrementó significativamente la productividad del cultivo, mejoró características como color, sabor y actividad antioxidante, y modificó la composición microbiana del suelo. Asimismo, se identificaron metabolitos clave y bacterias beneficiosas (como *Paenibacillus*) relacionadas con el crecimiento vegetal y la mejora del ciclo del nitrógeno. Se concluye que el compost no solo mejora la fertilidad del suelo, sino que genera una

interacción compleja entre suelo, microorganismos y planta, promoviendo el crecimiento vegetal y la calidad del cultivo mediante procesos biológicos y bioquímicos integrados.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Aimituma et al. (2023), en su investigación titulada Biorremediación de suelos salinos con enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno, Cusco-Perú. Universidad Peruana Unión, tuvo como objetivo determinar el efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas en la recuperación de suelos salinos. En la metodología, se empleó un diseño experimental de bloques completamente al azar con dos repeticiones, evaluando tratamientos con diferentes proporciones de estiércol de cuy aplicadas al suelo, específicamente 2 kg de estiércol por 10 kg de suelo (20 %) y 4 kg de estiércol por 10 kg de suelo (40 %), además de un tratamiento control sin enmienda. Las evaluaciones se realizaron a los 30, 60 y 90 días, analizando parámetros como pH, conductividad eléctrica (CE), porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y relación de absorción de sodio (RAS) y en cuanto al análisis estadístico, se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con análisis de varianza (ANOVA) para comparar los tratamientos. La hipótesis se aprueba cuando los tratamientos con mayor proporción de estiércol evidencian diferencias significativas respecto al control, mostrando mejoras en los parámetros del suelo; mientras que se desaprueba cuando no se presentan diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados. Respecto a los resultados, se evidenció una mejora significativa en la calidad del suelo, con disminución del pH de 8.05 a 7.3, reducción de la conductividad eléctrica hasta 1.2 mmhos/cm y un PSI de 7 %, además del incremento de nutrientes, siendo la mayor proporción de estiércol (40 %) la que presentó mejores resultados. Finalmente, se concluye que la aplicación de estiércol de cuy en proporciones elevadas es efectiva para la recuperación de suelos salinos, mejorando significativamente sus propiedades fisicoquímicas, lo que valida la hipótesis planteada y demuestra su viabilidad como alternativa sostenible.

Peralta et al. (2023). En su investigación Aplicación de abonos orgánicos en el manejo de los suelos degradados de las lomas costeras de Mangamarca – Lima. Universidad Cesar Vallejo, Perú. Desarrollaron una investigación con el objetivo de evaluar la efectividad de diferentes abonos orgánicos (bokashi, biochar y compost) en la recuperación de suelos degradados y su influencia en el desarrollo del cultivo de tomate en las Lomas Costeras de Mangamarca, Lima. La metodología empleada fue de tipo aplicada con enfoque experimental, donde se analizaron las propiedades del suelo y el crecimiento del cultivo bajo la aplicación de distintos abonos orgánicos. Se evaluaron parámetros del suelo como pH, materia orgánica y conductividad eléctrica, así como variables relacionadas al desarrollo del cultivo. Los resultados evidenciaron que los suelos degradados presentaron alteraciones significativas en sus propiedades químicas y biológicas, como incremento del pH, disminución de la materia orgánica y aumento de la conductividad eléctrica. Asimismo, aunque algunos abonos como el compost mostraron efectos positivos en el crecimiento del tomate, la mejora no fue suficiente para recuperar completamente la calidad del suelo. Se concluye que la aplicación de abonos orgánicos por sí sola no logra una recuperación integral de suelos degradados, debido a las limitaciones propias del suelo; por lo tanto, es necesario complementar con otras estrategias de manejo para mejorar su fertilidad y productividad.

Verástegui (2021) en su tesis Remediación del suelo de Carica papaya L., por el uso de pesticidas, con incorporación de gallinaza y dolomita, Picota, Perú, 2021. Universidad Cesar Vallejo, Tarapoto, el cual tuvo como objetivo determinar la remediación del suelo de Carica papaya L., basándose específicamente en el uso de pesticidas, con incorporación de gallinaza y dolomita, es por ello que se utilizó el siguiente método de preparación, el nivel de pH fue de 8.26, que es un suelo alcalino, y en muestras de madera P1 a P4, en promedio dio 8.23; Después de 20 días de usar estiércol de pollo y dolomita, se demostró que el trabajo de restauración redujo el nivel de pH en solo 0,03, lo que

equivale a 0,36%. Para metales pesados Cd, Cr y Pb, fue la terminación de dolomita y gallinaza, lo cual tiene como resultado no ser superior a ECA, por debajo del límite de determinación y se encontró, en esa zona después de mezclar con dolomita, P1 con 2 kg y P2 con 4 kg de Cd. y pb. evitar exceder la ECA de Cr, si se excede, y metales pesados en áreas con gallinaza P3 con 2 kg y P4 con 4 kg de Cd y Pb evitar exceder la ECA de Cr, o, si se excede, So, con estos tratamientos soluciones, se puede concluir que aumentando el nivel de metales pesados y bajando el nivel de pH con un pequeño efecto.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Cervantes (2022), En la investigación titulada Efecto del biochar de molle (*Schinus molle L.*) en la recuperación de suelos degradados utilizando como indicador el maíz (*Zea mays L.*), Huánuco 2021, desarrollada en la Universidad de Huánuco, tuvo como finalidad determinar la influencia del biochar de molle sobre la recuperación de suelos deteriorados. El estudio presentó un enfoque experimental, empleándose maceteros con 2 kg de suelo degradado distribuidos en tres tratamientos y cinco repeticiones, aplicando concentraciones de biochar de 5 %, 15 % y 30 %. Posteriormente, luego de 15 días, se sembraron semillas pregerminadas de maíz y se realizó el seguimiento durante 60 días. Entre los principales hallazgos se observó que el suelo inicialmente arcilloso mantuvo esta condición con la dosis de 5 %, mientras que con 15 % pasó a franco arcilloso y con 30 % a franco arcilloso arenoso. Asimismo, el pH inicial de 4.28, considerado ácido, logró estabilizarse con la aplicación del 5 % de biochar, aunque las dosis de 15 % y 30 % generaron niveles de alcalinidad elevados para la mayoría de cultivos. Respecto a la materia orgánica, esta presentó valores bajos al inicio, manteniéndose similar con 5 % y alcanzando niveles medios adecuados para uso agrícola con las dosis mayores. La capacidad de intercambio catiónico mostró ligeras mejoras, aunque continuó en niveles reducidos. Sin embargo, el tratamiento con 15 % de biochar evidenció el mejor comportamiento en el desarrollo del maíz empleado como bioindicador. En conclusión, el autor señala que el

biochar de molle contribuye favorablemente en la recuperación de suelos degradados, debido a que incrementa el contenido de materia orgánica, ayuda a regular el pH y favorece el crecimiento vegetal.

Solisor (2021), en la tesis titulada Efecto del biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en la mejora de la calidad de suelos y las características morfológicas del rabanito (*Raphanus sativus*), desarrollada en la Universidad de Huánuco, tuvo como propósito comparar el efecto del biochar de eucalipto en la calidad del suelo y en el desarrollo morfológico del rabanito durante el año 2020. La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental y empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia. Para el estudio se utilizaron 15 bandejas; en las cinco primeras se colocaron 15 kg de suelo pobre sin tratamiento, donde se evaluaron las propiedades físicas y químicas, además del crecimiento del cultivo. Las diez bandejas restantes contenían sustrato mezclado con biochar en concentraciones de 15 % y 30 %, distribuidas en cinco repeticiones por tratamiento, realizando el seguimiento del cultivo durante 45 días. Los resultados evidenciaron que el tratamiento con 15 % de biochar presentó mejoras en las propiedades físicas del suelo, registrándose promedios de 58.9 % de arena, 22.2 % de arcilla y 18 % de limo. Asimismo, el pH alcanzó un promedio de 8.862, mientras que la materia orgánica permaneció en niveles bajos con 1.402 %. En relación con los nutrientes, el nitrógeno se mantuvo bajo, aunque el fósforo y el potasio alcanzaron niveles intermedios. También se identificaron valores elevados en calcio y potasio intercambiables, mientras que el sodio se mantuvo reducido. La capacidad de intercambio catiónico alcanzó un promedio de 21.388, considerado como un nivel de fertilidad media. Por otro lado, el tratamiento con 30 % de biochar mostró mejores resultados en comparación con la dosis anterior, registrando 63 % de arena, 20.8 % de arcilla y 16.2 % de limo. El pH promedio fue de 9.298, clasificándose como fuertemente alcalino. Además, la materia orgánica alcanzó niveles intermedios, al igual que el nitrógeno, mientras que el fósforo y el potasio presentaron concentraciones altas. Los elementos

intercambiables como calcio, magnesio y potasio también mostraron valores elevados, aunque el sodio continuó siendo bajo. La capacidad de intercambio catiónico obtuvo un promedio de 33.032, indicando una fertilidad alta del suelo. El análisis estadístico mediante la prueba t de Student para muestras independientes demostró diferencias significativas entre los tratamientos, obteniéndose valores de significancia menores a 0.05. A partir de ello, el autor concluye que el biochar de eucalipto influye significativamente en la mejora de la calidad del suelo, favoreciendo la mayoría de parámetros físicos y químicos evaluados, excepto el limo, que no presentó cambios relevantes. Asimismo, se determinó que la dosis de 30 % de biochar fue la más efectiva, debido a que permitió elevar los niveles de fertilidad del suelo de categorías bajas a medias y altas.

Gonzales (2023) en su trabajo de investigación Efecto de los abonos organicos en el agroecosistema de café (*Coffea arabica L.*) en villa gloria, chinchao. Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Perú. Tuvo como objetivo evaluar el mejoramiento de las propiedades del suelo mediante la aplicación de técnicas de recuperación, analizando sus características físicas y mecánicas para determinar su comportamiento y uso adecuado. La metodología fue de enfoque cuantitativo con diseño experimental en bloques completos al azar, donde se evaluaron tratamientos como guano de las islas, materia orgánica estabilizada, biochar, orgaguanum premium y un testigo sin abono. Se analizaron variables físicas (textura), químicas (pH, materia orgánica, N, P, K, CIC y bases intercambiables) y productivas. Para el análisis de datos se empleó análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey al 5%, además de estadística descriptiva (media, varianza y coeficiente de variación). Los resultados evidenciaron que no existieron diferencias significativas en el pH ($p > 0.05$), pero sí se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre tratamientos para variables como materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, CIC y bases intercambiables. El tratamiento T2 (Guano de las islas) destacó al presentar los mayores valores en fósforo (6.64 ppm), calcio (12.43

meq/100 g), magnesio (2.59 meq/100 g) y CIC (15.45 meq/100 g). Asimismo, en el análisis de rendimiento, el ANOVA mostró diferencias altamente significativas en todas las variables ($p < 0.0001$), donde T2 obtuvo los mayores valores productivos, alcanzando hasta 2406.85 kg/ha de semillas, superando ampliamente al testigo. Se concluye que la aplicación de abonos orgánicos influye significativamente en la mejora de la calidad del suelo y el rendimiento del cultivo, siendo el guano de las islas (T2) el tratamiento más eficiente, debido a su competencia para incrementar la feracidad del suelo y optimizar la disponibilidad de nutrientes.

2.2. BASES TEÓRICAS REMEDIACIÓN

Según la definición proporcionada por Guzmán et al. (2020), la biorremediación hace referencia a un proceso diverso que emplee microorganismos, hongos, plantas o enzimas derivadas de ellos con la finalidad de modificar un entorno que ha sido modificado por contaminantes y así volverlo a su estado natural. La biorremediación se puede aplicar para abordar contaminantes específicos presentes en el suelo, existen diversos procesos y tipos de remediación que se emplean de acuerdo a la cantidad a recuperar, donde se aplican plantas, eso es una fase de fitorremediación o también mediante la aplicación de animales que biorremediación animal, siendo de resultados positivos si se realiza un proceso adecuado.

2.2.1. TIPOS DE BIORREMEDIACIÓN

La clasificación propuesta por Guzmán et al. (2020) respecto al proceso de biorremediación se divide en los siguientes tipos, basándonos según el organismo responsable de la degradación de los compuestos xenobióticos, tenemos:

- **Fitorremediación:** enfoque que implica el uso de plantas para controlar, eliminar o neutralizar sustancias orgánicas, metales pesados o radionucleidos presentes en el medio ambiente.
- **Biorremediación por parte de los animales:** considerando que hay algunos animales tienen la capacidad de desarrollarse en

entornos altamente tóxicos y albergar microorganismos en su interior que son capaces de retener metales pesados, lo que los convierte en agentes descontaminantes.

- **Biorremediación microbiana:** hace referencia al empleo de bacterias u otros microorganismos capaces de acumular o metabolizar compuestos orgánicos y metales pesados presentes en el medio ambiente, asimismo cuentan con la capacidad de transformar diferentes sustancias nocivas en otras con menor impacto ambiental. En los últimos años, se apreció un favorable avance en el desarrollo de esta técnica ya que favorece a la población que la está empleando, es por ello que los factores microbianos son factibles para la biorremediación ya que son de la misma fuente natural contribuyen.

Volke y Velasco (2002), indican las siguientes tecnologías in situ:

- La biorremediación en fase sólida es un procedimiento controlado el cual se emplea para rehabilitar los sedimentos de los suelos contaminados con compuestos, con la finalidad de obtener subproductos estables y seguros para el medio ambiente. En este proceso, el material contaminado se mezcla con agentes de volumen como paja, aserrín, estiércol, desechos agrícolas o abonos, donde estas sustancias sólidas orgánicas biodegradables se añaden para mejorar el equilibrio de nutrientes y asegurar una mejor aireación del suelo.
- La bioestimulación es otra herramienta de biorremediación que implica la adición de oxígeno y/o nutrientes de los sedimentos alterados para gestionar el proceso de los microorganismos nativos e impulsar la degradación biológica de los contaminantes. Castillo et al. (2005) destacan que la biorremediación presenta ventajas a diferencia de otras técnicas alternativas para la eliminación de compuestos contaminantes, como los tratamientos físico-químicos.
- La biorremediación es un proceso natural para eliminar contaminantes inorgánicos y como resultado evitar los productos

que suelen ser inocuos. Además, su ventaja respecto a costo-efectividad de la biorremediación es menor a diferencia de otras tecnologías, y puede llevarse a cabo in situ.

SELECCIÓN DE UNA TECNOLOGÍA DE REMEDIACIÓN

Según Volke y Velasco (2002), la elección de una tecnología de remediación para un suelo contaminado, con características específicas y con uno o varios contaminantes particulares, se basa en los siguientes criterios:

- Características ambientales, geográficas, demográficas, hidrológicas y ecológicas del sitio donde se encuentra el suelo contaminado.
- Tipo de contaminante presente en el suelo, ya sea orgánico o inorgánico, así como su concentración y características fisicoquímicas.
- Propiedades fisicoquímicas y tipo de suelo que se va a tratar, considerando su composición, textura, estructura y capacidad de retención.
- Evaluación del costo asociado a las posibles tecnologías de remediación que podrían aplicarse, teniendo en cuenta los recursos financieros disponibles y la relación costo-beneficio de cada opción.

ABONOS ORGÁNICOS

Según Achille (1969), los fertilizantes orgánicos son de carácter complejo y suelen presentar en su composición (nitrógeno, fósforo y potasio) en forma orgánica. La mayoría de los fertilizantes orgánicos contienen cantidades variables de estos nutrientes, y algunos de ellos pueden contener cantidades significativas de ambos o de uno en particular.

Méndez y Lojo (2011) enfatizaron que la materia orgánica en el suelo no existe en estado puro, lo cual está específicamente asociada con los coloides inorgánicos. Rodríguez (2005) demostró que la materia

orgánica se origina a partir de restos de plantas y animales, asimismo los residuos vegetales se pueden obtener de cultivos y plantas naturales, como también de los "abonos verdes" que se entierran en el suelo en ciertas etapas de crecimiento para proporcionar materia orgánica, por otro lado, los desechos animales incluyen comensales muertos y fauna del suelo, así como estiércol y fertilizantes orgánicos como estiércol, guano y arena de sangre. Estos residuos también están inmersos en los beneficios que se da a las características físicas del terreno, entre ellas la capacidad de porosidad y el nivel de ventilación del suelo.

Según Cooke (1975), los abonos orgánicos representan una fuente importante de nutrientes para el crecimiento de las plantas, además de aportar compuestos carbonados que sirven como alimento para microorganismos y pequeños organismos presentes en el suelo. Asimismo, menciona que este tipo de abonos contribuye a mejorar la estructura del suelo, ya sea de manera directa mediante la acción de materiales voluminosos sobre terrenos compactados, o indirectamente cuando los residuos de origen animal y la actividad microbiana favorecen la unión de las partículas del suelo. Estas modificaciones estructurales permiten incrementar la capacidad de retención de agua, optimizar la aireación y favorecer el drenaje, creando condiciones adecuadas para el desarrollo radicular. De igual forma, ayudan a evitar que el suelo se compacte excesivamente en estado seco o que permanezca saturado y sin oxígeno cuando existe exceso de humedad.

Gros (1971) afirma que los abonos orgánicos tienen una asimilación más lenta debido a que su mineralización está vinculada a procesos microbianos complejos, lo que resulta en una acción lenta y progresiva.

TIPOS DE ABONOS ORGÁNICOS

Según INTAGRI (2016), se consideran abonos orgánicos a los estiércoles, residuos de cultivo y compostas. Por lo tanto, un ejemplo de abono orgánico podría ser el estiércol de bovino, la paja de maíz y

la lombricomposta.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ABONOS ORGÁNICOS

Según INFOAGRO (2015), el abono orgánico presenta varias ventajas en el suelo:

- El color oscuro del abono orgánico permite que absorba más radiación solar, como consecuencia se tiene el incremento de la temperatura en el suelo. Esto promueve la absorción de nutrientes por las plantas.
- El abono orgánico mejora la estructura y textura del suelo, volviendo más ligeros los suelos arcillosos y más compactos los suelos arenosos contribuyen a mejorar la permeabilidad del suelo, lo que tiene un efecto positivo en el drenaje y la aireación del suelo.
- Reducen la erosión en el sustrato, tanto por agua como por viento, al proporcionar una mayor cohesión y estabilidad al suelo.
- Aumentan la retención de agua en el suelo, esto facilita una mayor absorción del agua durante las lluvias o el riego, y retienen el agua en el suelo durante períodos más prolongados, especialmente en épocas secas como el verano.

PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS ABONOS ORGÁNICOS

De acuerdo con INFOAGRO (2015) El empleo de fertilizantes orgánicos en el suelo conlleva una serie de ventajas, entre las cuales se encuentran:

Los abonos orgánicos mejoran el poder tampón del suelo, lo cual reduce las fluctuaciones de pH en el suelo, proporcionando un ambiente más estable para el crecimiento de las plantas.

Asimismo, aumentan la capacidad de intercambio catiónico del suelo, ello incrementa de manera positiva su fertilidad. La aplicación de fertilizantes orgánicos en el suelo genera ventajas integrales para sus condiciones y productividad. El uso de abonos orgánicos en el suelo brinda beneficios globales, ya que aumentan la productividad de los cultivos y favorecen

el desarrollo del ecosistema en su conjunto.

PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE LOS ABONOS ORGÁNICOS

Según INFOAGRO (2015), el uso de abonos orgánicos en el suelo proporciona los siguientes beneficios:

- Los abonos orgánicos mejoran la aireación y oxigenación del suelo, lo que incrementa la actividad radicular de las plantas y favorece la actividad de los microorganismos aeróbicos presentes en el suelo.
- Los abonos orgánicos son considerados como fuente de energía para los microorganismos, lo que estimula su proliferación y multiplicación en el suelo, el cual promueve el crecimiento de las raíces y estimula la proliferación de microorganismos aeróbicos, ya que son una fuente de energía, lo cual se refiere de manera positiva en el desarrollo de las plantas y en la salud global del suelo.

VALOR ENERGÉTICO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS

Según Romero (1989), el contenido nutricional y de materia orgánica de los abonos orgánicos suelen variar de manera considerable debido a varios factores. Por ejemplo, en el caso del estiércol bovino, su composición dependerá de la especie animal que lo produce, la edad de los animales, su eficiencia digestiva, el tipo de alimentación que reciben y el manejo que se haya dado al estiércol desde su recolección, maduración y almacenamiento. De manera similar, el contenido nutricional de un residuo de cultivo estará influenciado por el potencial de rendimiento alcanzado en el cultivo, la calidad de la nutrición recibida, la eficiencia en su uso e incorporación, entre otros factores. En resumen, el contenido nutricional y de materia orgánica de los abonos orgánicos puede variar significativamente debido a una serie de factores, como la especie animal, la alimentación, la edad, el manejo del estiércol y el potencial de rendimiento y manejo de los residuos de cultivo.

BENEFICIOS DE LOS ABONOS ORGÁNICOS

Según INTAGRI (2016), los abonos orgánicos generan diversos beneficios en la producción agrícola debido a que aportan nutrientes esenciales necesarios para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, dependiendo del tipo de material utilizado. Además, presentan una mayor permanencia en el suelo en comparación con los fertilizantes químicos, ya que los nutrimentos son liberados de manera paulatina, permitiendo un suministro continuo durante las diferentes etapas fenológicas de las plantas. Asimismo, contribuyen a mejorar las propiedades físicas del suelo, favoreciendo la estructura, la porosidad, la aireación y la capacidad de retención de agua.

De igual manera, la materia orgánica tiene la capacidad de formar complejos con los nutrimentos, facilitando una mayor disponibilidad para la absorción por parte de las plantas. También incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo, especialmente en terrenos arenosos o de baja fertilidad, debido a que la materia orgánica posee una CIC superior a la de muchas arcillas. Durante el proceso de descomposición, los abonos orgánicos liberan dióxido de carbono que, al transformarse en ácido carbónico, contribuye a la solubilización de nutrimentos presentes en otras fuentes del suelo.

Por otro lado, estos abonos constituyen una fuente importante de carbono orgánico para los microorganismos heterótrofos, estimulando la actividad biológica del suelo. Asimismo, favorecen una mayor infiltración del agua, disminuyendo el escurrimiento superficial y reduciendo las pérdidas ocasionadas por erosión hídrica. También promueven la estabilidad de los agregados del suelo, lo que contribuye a conservar sus propiedades productivas a largo plazo. En consecuencia, el uso de abonos orgánicos permite mantener la fertilidad del suelo y favorece sistemas agrícolas más sostenibles a través del tiempo.

ESPECIE Y TAXONOMÍA DEL *EUCALYPTUS*

El género *Eucalyptus* pertenece a la familia *Myrtaceae*, dentro del orden *Myrtales*. Comprende más de 700 especies descritas, originarias principalmente de Australia, aunque muchas de ellas se han introducido en América del Sur, África y Asia con fines forestales, industriales y ornamentales (Del Pozo, 2018). En el Perú, *Eucalyptus globulus Labill.* es la especie más cultivada, especialmente en la Sierra, por su rápido crecimiento y resistencia a condiciones frías (MINAM, 2019).

Desde el punto de vista morfológico, presenta hojas perennes, opuestas en estado juvenil y alternas en estado adulto, con glándulas de aceite que contienen metabolitos secundarios de importancia ecológica y farmacológica (Pérez & García, 2016).

- Contribuyen al mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, favoreciendo la estructura, la porosidad, la circulación del aire y la capacidad de almacenamiento de agua.
- Tienen la capacidad de formar compuestos orgánicos con los nutrimentos, facilitando una mayor disponibilidad y aprovechamiento por parte de las plantas.
- La materia orgánica presenta una capacidad de intercambio catiónico (CIC) superior a la de las arcillas, por lo que la aplicación de abonos orgánicos ayuda a incrementar dicha capacidad, especialmente en suelos arenosos o con baja fertilidad.
- Durante su proceso de descomposición liberan dióxido de carbono (CO₂), el cual origina ácido carbónico (H₂CO₃), favoreciendo la solubilización de nutrimentos presentes en el suelo.
- Constituyen una fuente importante de carbono orgánico que estimula la actividad de microorganismos heterótrofos presentes en el suelo.
- Favorecen una mayor infiltración del agua y disminuyen el

escurrimiento superficial.

- Contribuyen a mantener una mejor estabilidad de los agregados del suelo.
- El uso de abonos orgánicos permite incrementar la productividad del suelo, conservar su fertilidad a largo plazo y promover sistemas agrícolas sostenibles a través de los diferentes ciclos productivos.

ESPECIE Y TAXONOMÍA DEL *EUCALYPTUS*

El género *Eucalyptus* pertenece a la familia *Myrtaceae*, dentro del orden *Myrtales*. Comprende más de 700 especies descritas, originarias principalmente de Australia, aunque muchas de ellas se han introducido en América del Sur, África y Asia con fines forestales, industriales y ornamentales (Del Pozo, 2018). En el Perú, *Eucalyptus globulus* Labill. es la especie más cultivada, especialmente en la Sierra, por su rápido crecimiento y resistencia a condiciones frías (MINAM, 2019).

Desde el punto de vista morfológico, presenta hojas perennes, opuestas en estado juvenil y alternas en estado adulto, con glándulas de aceite que contienen metabolitos secundarios de importancia ecológica y farmacológica (Pérez & García, 2016).

Figura 1

Follaje de eucalipto



Nota: Evolución fenológica del eucalipto desde su establecimiento hasta su etapa adulta.

Figura 2

Planta de eucalipto en crecimiento



Nota: Especie asociada a la degradación del suelo por su alta demanda hídrica y efectos alelopáticos.

COMPOSICIÓN DE LA HOJARASCA DEL EUCALIPTO

La hojarasca corresponde al material vegetal senescente que cae al suelo (hojas, ramillas, corteza). En ***Eucalyptus***, esta fracción es rica en:

- Pigmentos naturales con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias.
- Lignina y celulosa, Componentes estructurales que dan rigidez a la hoja y hacen lenta su degradación
- Aceites esenciales (1,8-cineol, α -pineno, limoneno, etc.), que se liberan durante la descomposición.
- Fenoles y taninos condensados, que retardan la mineralización y afectan la actividad microbiana.
- Ácidos fenólicos libres (ácido p-hidroxibenzoico, ferúlico, vainílico, salicílico), encargados de incrementar la acidez del suelo y reducir el acceso de las plantas a los nutrientes disponibles. (Souto et al., 2015).

Figura 3

Área de plantaciones de eucalipto



Nota: Área con presencia de eucaliptos en pendiente, donde se evidencia su impacto sobre la cobertura vegetal y el uso agrícola del suelo.

Figura 4

Bosque de eucalipto



Nota: Plantación homogénea de eucaliptos.

CONCEPTO DE ALELOPATÍA Y EFECTOS DEL EUCALIPTO EN EL SUELO

La alelopatía se define como la interacción bioquímica entre plantas, donde una especie libera compuestos secundarios (alelocquímicos) que modifican la germinación, crecimiento o fisiología de otras especies vegetales (Rice, 1984).

En el caso de ***Eucalyptus***, los alelopáticos se liberan por lixiviación de la hojarasca, exudados radicales y volatilización de aceites esenciales. Estos compuestos:

- Inhiben la germinación de semillas de otras plantas.
- Reducen el crecimiento radicular y la biomasa de plántulas.
- Alteran el microbiota del suelo, inhibiendo procesos de fijación biológica de nitrógeno y descomposición de residuos orgánicos naturales.
- Contribuyen al aumento de la acidez y a la pérdida de fertilidad del suelo, reduciendo la fertilidad a mediano plazo (Gutiérrez, 2017; Ullah et al., 2023).

PRINCIPALES COMPUESTOS PRESENTES EN HOJAS Y SUELOS ASOCIADOS AL EUCALIPTO

Tabla 1

Compuestos químicos en hojas y suelos bajo plantaciones de ***Eucalyptus***

Compuesto / grupo	Concentración aproximada	Fuente
Ácidos fenólicos totales (p-hidroxibenzoico, benzoico, vainílico, ferúlico, salicílico, cinámico) en suelos bajo eucalipto	38.451 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (6 años, 1ra gen.)	Ullah et al. (2023)
Proporción de ácido p-hidroxibenzoico sobre el total de fenólicos	33.5 – 51.6 %	Ullah et al. (2023)
Fenoles totales en hojas de <i>E. globulus</i>	235.87 $\pm$ 4.38 mg/g de peso seco	Pereira et al. (2018)
Aceite esencial en hojas de <i>E. globulus</i>	1 – 3 % del peso seco de hojas	Del Pozo (2018)
Compuestos mayoritarios del aceite esencial	1,8-cineol (eucalyptol), α -pineno, limoneno	Souto et al. (2015)

Nota: Información de la composición de las hojas del ***Eucalyptus globulus***.

CUY

Según Ordoñez (2003), el cuy (*Cavia porcellus*) es valorado por su carne de alto contenido nutritivo y bajo nivel de grasa, lo que lo convierte en una opción para satisfacer las necesidades alimenticias en áreas de bajos niveles socioeconómicos. Molina (2012). Estos animales han convivido con las personas en Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú durante muchos años Tapie (2013). En los últimos años, ha habido un aumento en la demanda de cuyes debido al incremento de su consumo en áreas urbanas. En el Perú, la cría de cuyes se lleva a cabo en varios departamentos, siendo Ancash, Apurímac, Cajamarca, Cusco, Huánuco, Junín, La Libertad y Lima los lugares de mayor producción. (MIDAGRI,2016).

Dedicada a la cría de cuyes con el objetivo de aumentar la producción. El aumento de la producción significa mejores métodos de cuidado y manejo de estos animales. Un aspecto importante a considerar es el control de la humedad excesiva en el ambiente de alojamiento de los cuyes. Para lograrlo se utilizaron diversos materiales como paja, aserrín, virutas de madera como ropa de cama para mantener un ambiente adecuado. Enríquez & Rojas (2004).

Según Ataucusi (2015), Los cuyes son herbívoros monogástricos y comen granos, harina, pasto y forraje. La digestión de enzimas en cobayos comienza en el estómago, donde tiene lugar la fermentación bacteriana. Como parte de su fisiología, los cobayos también practican la autotrófica cecal, es decir, consumen sus propias heces para agotar el nitrógeno que el cuerpo aún no ha asimilado. La composición del alimento afecta la función digestiva de los cobayos, lo que a su vez afecta las características de sus excrementos.

CUYINAZA

Según Restrepo (2007), Cuyinaza cumple la función de aportar los microorganismos necesarios para la fermentación anaeróbica de los abonos biológicos. Estos microorganismos, como levaduras, bacterias, protozoos y hongos, actúan como "material de semilla" son importantes

en el suministro de nutrientes al suelo y las plantas. Además, también se encuentran en el caldo vivo fermentado en productos lácteos.

APLICACIÓN DE LA CUYINAZA

Según Terán (2009), Cuyinaza se aplicó directamente al suelo cultivado como suplemento microbiano. Sin embargo, no es recomendable porque no todos los nutrientes de la cuyinaza pueden ser absorbidos directamente por la planta, por lo que requiere un proceso de fermentación adicional.

Por su alto contenido nutricional, fácil preparación y extremadamente fácil acceso a los materiales, la cuyinaza o cuyaza es un producto que juega un papel importante en la elaboración de alimentos para diversos tipos de animales, como ovinos, bovinos y camellos, gallinas, roedores, etc, además, no se puede ignorar su potencial en la producción de biofertilizantes o fertilizante orgánicos como humus, compost, bioalcoholes y biosoles. (Montes, 2012).

BIOCARBÓN

Según Reyna (2014), El biocarbón es un producto obtenido por la quema parcialmente anaeróbica de biomasa a temperaturas entre 350 y 500 °C. con una alta concentración de cenizas y carbono, lo que lo convierte en un material propicio para mejorar las propiedades del suelo. Actualmente, su uso en actividades agrícolas ha surgido como una medida de reciclaje de nutrientes y manejo de agroecosistemas para evitar la pérdida de tierras agrícolas y forestales. De esta manera, se puede mejorar la fertilidad del suelo y prevenir su degradación.

Por otro lado, Escalante (2016) Se menciona que se ha utilizado desde la antigüedad para reintegrar nutrientes al suelo y eliminar posibles plagas y enfermedades en los cultivos, asimismo su tecnología puede proporcionar beneficios para el suelo, como mejorar la fertilidad e influir en las propiedades del suelo.

Guerra (2015) señala que la biomasa residual utilizada para la

producción de biocarbón puede ser de diferentes tipos, como hojas, raíces, ramas secas y otras podas de plantas, por lo que el resto de la planta debe estar completamente seca para producir carbón.

APLICACIONES AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES DEL BIOCARBÓN

Según Abenza (2012), menciona que está relacionado con el ciclo del carbono, que implica cosechar parte de la biomasa como energía, pero almacenando el carbono en el suelo para su estabilización, su proceso de producción implica una combustión incompleta, que también produce cenizas que pueden utilizarse como fuente de energía y fertilizante influyendo a que el biocarbón se ha utilizado en varios campos en los últimos años, pero su uso principal es en la agricultura, donde el objetivo es mejorar las condiciones de cosecha y del suelo. (Reyna, 2014).

MODALIDADES DE PIROLISIS

Según Taylor y Manson (2010), en la industria actual existen diversos métodos de pirólisis utilizados para la producción de biocarbón.

- Según Taylor y Manson (2010), El pirólisis lento se lleva a cabo en hornos y autoclaves sin oxígeno, generalmente a temperaturas más bajas.
- El proceso rápido de resolución térmica significa que el uso de piezas finas se utiliza para obtener más compuestos volátiles de coagulación. Estos compuestos pueden afectar el rendimiento y los resultados del carbón biológico, como señalan Taylor y Manson (2010).
- El gas es otro tipo de producción de carbono biológico, en dicho proceso se omiten errores como CO y H₂ para crear calorías con carbono bioquímico. La técnica se llama TLUD, según Taylor y Manson (2010).

- La carbonización es el proceso de aumentar el contenido de carbono del carbón a través del pirólisis. Como menciona Bridgwater (2007), también se clasifica como un tipo de pirólisis lenta y puede ocurrir en el rango de temperatura de alrededor de 400 a 500 °C, este intervalo es muy importante para obtener los resultados más efectivos.

TÉCNICA USADA PARA OBTENCIÓN DE BIOCARBON

Taylor y Manson (2010) mencionan que la obtención de biocarbón puede llevarse a cabo mediante diferentes técnicas de producción, las cuales se diferencian principalmente por la presencia o ausencia de oxígeno durante el proceso de conversión de la biomasa.

- Método 1: Combustión directa (pirólisis óxica): Según Taylor y Manson (2010), este método implica la quema de una parte de la biomasa en el reactor con un suministro limitado de aire, lo que genera gases calientes que calientan gradualmente la materia orgánica de origen biológico.
- Método 2: Tratamiento térmico sin presencia de oxígeno (pirólisis anóxico): Según Taylor y Manson (2010), en este método, el reactor se calienta externamente y no se introduce aire en el mismo. El calor se transfiere a través de las paredes del reactor hacia la biomasa.
- Método 3: Calentamiento mediante corrientes gaseosas recirculación: Según Taylor y Manson (2010), en este método, se quema una gran parte de los gases generados por la pirolisis en una cámara de combustión externa. Luego, estos gases calientes se dirigen hacia el reactor, donde entran en contacto directo con la biomasa.

CALIDAD DEL SUELO

Es el que permite que las plantas obtengan el agua y los nutrientes que necesitan para crecer es el suelo, por lo que la parte superficial cuenta con un papel superficial en la saturación de oxígeno

de raíces, estolones y cultivos. (Egúsquiza, 2011)

El suelo se caracteriza por el hecho de que es la capa superior de la tierra, donde crecen las raíces y donde las plantas extraen la humedad y los elementos nutritivos indispensables para el desarrollo y bienestar. Consiste en una mezcla de 35 minerales del lecho rocoso, materiales orgánicos como restos de origen vegetal y animal, así como agua, aire y microbios vivos. El suelo tarda miles de años en formarse, pero puede desvanecerse debido a varios factores, incluyendo prácticas agrícolas deficientes, como la explotación intensiva de suelos de baja calidad, el sobrepastoreo en áreas vulnerables y la tala de bosques en regiones aridad y de montaña, entre otras. Degradación y pérdida en un corto período de tiempo. El uso inadecuado de los métodos de riego puede causar erosión, acumulación de sales o incremento de la alcalinidad en el valle. (Van, 2006)

PERFIL DEL SUELO

A medida que las partículas de las rocas se desintegran y se mezclan con los restos en descomposición de plantas y animales, se van formando distintas capas en el suelo, conocidas como horizontes del suelo. Estas capas son visibles en zanjas, cortes de caminos e incluso al cavar un hoyo en el suelo, y juntas conforman el perfil del suelo.

- Horizonte "O": Este horizonte corresponde a la capa más superficial del suelo y se caracteriza por estar constituido principalmente por materia orgánica en proceso de descomposición, como restos vegetales y líquenes. Representa los materiales que alguna vez estuvieron vivos.
- Horizonte "A": Este horizonte es considerado el primer nivel mineral del suelo, aunque aún presenta un contenido importante de materia orgánica. Se caracteriza por su coloración oscura y por la presencia de raíces tanto vivas como en proceso de descomposición y así como también son los macroorganismos que se encuentran en el suelo, las lombrices, animales pequeños e insectos de todo tipo, ya sean rastreros o también aquellos que pueden vivir en distintos

espacios, acuáticos, aéreos y terrestres

- Horizonte "B": Esta capa se encuentra a mayor profundidad y tiene un color ligeramente más claro que el horizonte A, ya que contiene una porción menor de materia orgánica.
- Horizonte "C": Esta capa se ubica en la zona más inferior del perfil del suelo y se caracteriza por presentar una tonalidad oscura.
- Horizonte "R": Este horizonte se encuentra debajo del horizonte C y revela la roca madre original a partir de la cual se formó el suelo. (Godoy, 2013)

NATURALEZA DEL SUELO

El suelo es un componente esencial de la geosfera, que consiste en materia orgánica, minerales y agua necesarios para la vida vegetal, así su capa superficial sea delgada, juega un papel vital en el desarrollo de las plantas. Además, es como un filtro y regula el suministro de agua para que el agua de lluvia pueda infiltrarse y drenar a los acuíferos subterráneos. También juega un papel crucial en el reciclaje de nutrientes y proporciona hábitats para varios microorganismos como bacterias y hongos. (Corcuera, 2016).

COMPOSICIÓN DEL SUELO

El Instituto Nacional de Innovación Agraria (2015) menciona que el suelo está conformado por cuatro tipos principales de componentes.

La materia mineral del suelo está compuesta por partículas de diferentes tamaños, que van desde piedras más pequeñas hasta partículas de arcilla microscópicas. Estas partículas se clasifican en arena (2 a 0.05 mm), limo (0.05 a 0.002 mm) y para arcilla (inferior de 0.002 mm).

- La materia orgánica, también conocida como humus, se forma a partir de la descomposición de restos animales y vegetales, su presencia es vital en el suelo en cuanto a su fertilidad. ya que los microorganismos presentes en ella liberan nutrientes para las

plantas. Además, le proporciona al suelo su característico color oscuro. Los poros del suelo, que contienen aire y agua intercambiable, se encuentran en la fracción mineral y en la materia orgánica.

- Los poros de mayor tamaño en el suelo están llenos de aire y son necesarios para la respiración de las raíces de las plantas y los pequeños animales que habitan en el suelo.
- Los poros más pequeños acumulan agua, la cual es esencial para la nutrición de las plantas, ya que contiene sustancias minerales necesarias. También permiten la absorción de moléculas de agua para hidratar el suelo.
- El suelo también contiene otros materiales y compuestos que están presentes o se pueden observar dentro de él.

CONSERVACIÓN DEL SUELO

Los suelos con mayor producción para el cultivo de frijoles son los suelos arcillosos y arenosos, ya que favorecen la formación de nódulos radiculares. Estos nódulos permiten que las leguminosas capturen nitrógeno libre del aire, lo que ayuda a aumentar los rendimientos en el área. Asimismo, es importante señalar que estos terrenos suelen tener pendientes de moderadas a pronunciadas, por lo que se recomienda la protección del suelo. (IICA, 2009).

Los frijoles se cultivan en diferentes tipos de suelos. Sin embargo, para garantizar una producción agrícola adecuada, es necesario que se elija un suelo con buen drenaje y rico en materia orgánica. Es considerable considerar suelos que se compacten fácilmente o con muchas rocas. También se recomienda evitar sembrar en terrenos donde se cultivó frijol la temporada anterior. (GRLL, 2013).

PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

COLOR

La tierra presenta diversos colores como blanco, rojo, café, gris,

amarillo y negro, ellos están asociados a diferentes elementos y propiedades. Estos colores se pueden utilizar como indicadores indirectos de ciertas propiedades del suelo. Cada color tiene sus propias propiedades únicas. (Casas, 2012).

PROFUNDIDAD LIBRE

Según Casas (2012), Todas las capas del perfil del suelo tienen diferentes espesores para que las raíces puedan explorar los nutrientes y el agua sin restricciones.

POROSIDAD

El espacio poroso del suelo se define como el porcentaje del volumen total que no se encuentra ocupado por partículas sólidas. Dicho espacio está conformado por macroporos y microporos, los cuales permiten la circulación de aire y agua dentro del suelo (FAO, 2016).

TEXTURA

Hace referencia a las proporciones y formas de las partículas que forman el suelo, como arena, limo y arcilla. Esta propiedad es crítica porque afecta la capacidad de retención de agua y la fertilidad del suelo. (Villalobos y Fereres, 2016)

- Textura arenosa: Es antiadherente y consiste principalmente en granos de arena que se pueden ver y sentir fácilmente cuando se golpean ligeramente. Cuando está seco se desmorona fácilmente al apretarlo, mientras que cuando está húmedo se forma y se desmorona al tacto. (Cotrina, 2016)
- Textura franco arenosa: Según Cotrina (2016), estos suelos presentan un alto contenido de arena acompañado de cantidades moderadas de arcilla y limo, lo que proporciona cierta cohesión entre sus partículas. Los granos de arena pueden observarse y percibirse fácilmente al tacto. En estado seco, el agregado formado tiende a desmoronarse con facilidad al ejercer presión; sin

embargo, cuando el suelo se encuentra húmedo, el molde conserva su forma siempre que sea manipulado cuidadosamente.

- Textura franca: Son una mezcla homogénea de arena, limo y arcilla. Son suaves al tacto, ligeramente plásticos y de textura aterciopelada. Cuando está seco, el molde mantendrá su forma si se manipula con cuidado, mientras que cuando está mojado, no se romperá fácilmente si se afloja. (Cotrina, 2016)
- Textura franco limosa: Tienen una cantidad moderada de arena, menos arcilla y una mayor proporción de limo. En condiciones secas, tienen una apariencia terrosa y se desmoronan fácilmente, pero tanto en condiciones secas como húmedas, conservan su forma cuando se manipulan libremente. (Cotrina, 2016)
- Textura predominantemente franco-arcillosa Estos suelos son de textura fina y tienden a formar terrones firmes cuando se secan. Cuando está húmedo, puede formar una cinta que se rompe fácilmente por su propio peso, y el molde tiene buena trabajabilidad, es decir, no es fácil de romper al amasar. (Cotrina, 2016)
- Textura arcillosa: Cuenta con una estructura de grano pequeño y una textura suave. Contiene una gran cantidad de arcilla. Se endurece cuando está seco, se vuelve viscoso y maleable cuando está húmedo. (Cotrina, 2016).

ESTRUCTURA

Está determinada por cómo se unen las partículas individuales, tales son la arena, limo y arcilla, las cuales se unen para formar agregados, lo que da como resultado partículas más grandes en el suelo. (Villalobos, 2016)

AGUA EN LOS SUELOS

Según el estudio de Ding et al. (2016), La medición del tamaño de las partículas del suelo se utiliza como base para calcular la curva

de retención de agua del suelo, específicamente en el proceso que se da durante la infiltración, esto también se basa y va respecto a los diferentes tamaños de poros del suelo, se puede decir que existen varios tamaños que afectan la retención de agua y el movimiento en el suelo, los cual asume una distribución normal de tamaños de poros.

Para los suelos arenosos, la clasificación de la porosidad se basó en la textura del suelo y se observaron similitudes entre tres parámetros: porosidad residual, porosidad estructural y porosidad estructural. Estos parámetros se refieren a diferentes fracciones de partículas del suelo como arcilla, limo y arena. También afectan a los grandes poros que permiten el paso del agua, facilitando y favoreciendo la infiltración, evitando el encharcamiento del suelo y su contenido.

DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL SUSTRATO

No todo el líquido del sustrato está disponible para el desarrollo de las plantas. Esto se debe a que para que las plantas usen el agua del suelo, incluso cuando el suelo llega a su punto de saturación, las plantas no pueden aprovechar totalmente el agua debido a la ausencia de aire en los poros. (Casas, 2012)

INFILTRACIONES Y PERMEABILIDAD

Es el fenómeno cuando el agua se infiltra en el suelo, se mueve desde la superficie del suelo hacia el suelo profundo y el agua penetra verticalmente en la superficie del suelo, se considera la velocidad de penetración es el factor determinante de este proceso. La permeabilidad, por otro lado, se refiere a la capacidad del suelo para permitir el paso del agua. La conductividad hidráulica se utiliza para evaluar la permeabilidad del suelo porque representa la velocidad a la que el agua se mueve a través de una capa de suelo sin afectar a otras capas. La permeabilidad del suelo se ve afectada por su composición, textura y estructura. En particular, la permeabilidad permite que los líquidos penetren uniformemente en todas las capas del suelo. (Casas, 2012)

PARÁMETROS QUÍMICOS DEL SUELO

Son indicadores que permiten observar cual es el estado de la fertilidad y la composición en la que se encuentra el suelo.

pH DEL SUSTRATO

El pH es un parámetro químico fundamental que se evalúa en el suelo, ya que indica su grado de acidez o alcalinidad. Además, proporciona información crucial sobre la capacidad agrícola del suelo, ayuda a predecir los cationes predominantes asociados a los coloides del suelo, lo cual facilita la evaluación de la disponibilidad de nutrientes y la capacidad del suelo para retener plaguicidas. En resumen, el pH del suelo es una medida esencial que brinda datos importantes para comprender y manejar adecuadamente las características y propiedades del suelo en términos de su uso agrícola. El pH neutro que debe tener el suelo es con el valor 7. Si disminuye eso quiere decir que hay un suelo muy ácido y si sobre pasa es alcalino. (Casas, 2012)

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La salinidad del suelo está relacionada con la concentración de sales presentes en la solución del suelo y puede determinarse de manera indirecta a través de la medición de la conductividad eléctrica (CE). Este parámetro depende principalmente de la composición y cantidad de sales disueltas existentes en el suelo (Rebolledo, 2002).

A medida que aumenta el valor de la conductividad eléctrica (CE), aumenta la concentración de sales en el suelo. Esta alta salinidad puede tener efectos perjudiciales en el desarrollo de las plantas, lo que a su vez se traduce en una disminución en la productividad, a la vez es toda capacidad que va a tener un material para que pueda trasladar o conducir la electricidad, los más conocidos son los metales por su fácil conducción. (Rebolledo, 2002).

CARBONATO DE CALCIO EN EL SUELO

El carbonato de calcio (CaCO_3) corresponde a una sal de escasa solubilidad que puede presentarse en el suelo bajo diferentes

formas y concentraciones. Su presencia es de gran importancia para la estructura del suelo, siempre y cuando se encuentre en concentraciones moderadas. Asimismo, el carbonato de calcio se emplea para regular el pH en suelos ácidos y aportar calcio como nutriente esencial para las plantas. No obstante, cuando su concentración supera la capacidad de adsorción del suelo, puede generar efectos negativos debido a la formación de compuestos insolubles con otros elementos. (FAO, 2021).

MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica (MO) del suelo está constituida por restos de origen vegetal y animal que se encuentran en distintas fases de descomposición, además de incluir la biomasa microbiana presente en el suelo. Su presencia guarda una estrecha relación con las propiedades biológicas, químicas y físicas del suelo. En la mayoría de los casos, la materia orgánica cumple una función esencial en la formación y estabilidad de los agregados del suelo, los cuales pueden variar en tamaño y estructura. La incorporación de MO contribuye a proteger dichos agregados frente a una rápida degradación, favoreciendo así su estabilidad. Sin embargo, las labores de cultivo pueden acelerar la descomposición de la materia orgánica debido al incremento de la aireación del suelo, situación que estimula la actividad de los microorganismos. (Cotrina, 2016).

NITRÓGENO (N)

Según Cotrina (2016), el nitrógeno constituye el principal componente de la atmósfera terrestre, ya que representa aproximadamente el 78,1 % de su composición. Para su obtención a nivel industrial se emplea el proceso de destilación del aire líquido. Asimismo, este elemento también puede encontrarse en residuos de origen animal, como el guano.

El nitrógeno cumple una función esencial en las plantas, debido a que constituye un componente básico de los aminoácidos, los cuales participan en la formación de proteínas. El nitrógeno también está

presente en las amidas, la clorofila y varias hormonas vegetales, como las citoquininas y las auxinas. Además, se encuentra en vitaminas, nucleótidos, ácidos y alcaloides.

FÓSFORO (P)

Según Cotrina (2016), el nitrógeno constituye el elemento predominante en la atmósfera terrestre, alcanzando aproximadamente el 78,1 % de su composición total. Su obtención con fines industriales se realiza mediante el proceso de destilación del aire líquido. Asimismo, además de encontrarse en la atmósfera, este elemento también está presente en residuos de origen animal, como el guano.

El nitrógeno cumple una función indispensable en el desarrollo de las plantas, debido a que forma parte esencial de los aminoácidos, compuestos que intervienen en la constitución de las proteínas. El nitrógeno también está presente en las amidas, la clorofila y varias hormonas vegetales, como las citoquininas y las auxinas. Además, se encuentra en vitaminas, nucleótidos, ácidos y alcaloides.

POTASIO (K)

El potasio es un elemento que puede ser adsorbido fácilmente por los coloides del suelo, llegando a constituir hasta un 3 % de su composición. No obstante, en suelos con bajo contenido de arcilla o en terrenos pantanosos, la presencia de compuestos potásicos suele ser reducida, generando deficiencias que afectan el adecuado desarrollo de los cultivos. La carencia de potasio en las plantas se evidencia mediante un aspecto marchito o debilitado, debido a que este nutriente participa en la regulación del agua dentro de las células. Asimismo, el potasio presente en el suelo puede perderse con facilidad por lixiviación en zonas de alta precipitación, por lo que resulta necesario reponerlo mediante fertilización, utilizando fuentes como sulfato de potasio o cloruro de potasio.

En el suelo, el potasio se encuentra bajo cuatro formas principales: potasio soluble, intercambiable, fijo y mineral. La suma de

estas formas determina el contenido total de potasio disponible en el suelo, siendo este uno de los nutrientes que comúnmente se evalúan en los análisis de fertilidad.

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO (CIC)

Según Casas (2012), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) corresponde a un proceso reversible mediante el cual las partículas sólidas del suelo, tanto minerales como orgánicas, retienen ciertos iones de la solución del suelo y liberan otros en cantidades equivalentes, estableciendo un equilibrio entre ellos. Debido a que estos iones son adsorbidos débilmente, pueden intercambiarse fácilmente con la solución del suelo, permitiendo así la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Asimismo, la CIC expresa la capacidad que posee el suelo para retener cationes como calcio, magnesio, sodio, potasio y amonio, entre otros.

- El calcio (Ca) presente en el suelo puede encontrarse en formas solubles o insolubles, dependiendo principalmente de las condiciones de pH. Por su carga divalente y bajo grado de hidratación, este elemento presenta gran afinidad por las arcillas y la materia orgánica del suelo (Moreno, 2018).
- El magnesio (Mg) intercambiable constituye la fracción más importante para evaluar la disponibilidad de este nutriente en el suelo. Esta forma comprende el magnesio adsorbido por las partículas de arcilla y la materia orgánica, manteniéndose generalmente en equilibrio con el magnesio disuelto en la solución del suelo (Smart fertilizer software, 2020).
- El sodio (Na) intercambiable corresponde a la cantidad de sodio retenida por las partículas del suelo y suele expresarse como porcentaje de la capacidad de intercambio catiónico. Cuando el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) supera el 15 %, los suelos son considerados sódicos (Smart fertilizer software, 2020).
- El potasio (K) se localiza en los sitios de intercambio iónico de las

micelas del suelo. Debido a su carga positiva, este catión es atraído por las cargas negativas de las partículas del suelo y permanece retenido hasta ser desplazado por otro catión con mayor capacidad de atracción, como el amonio (NH_4^+) (Cotrina, 2016).

- El amonio (NH_4^+) es uno de los nutrientes limitantes de mayor importancia en la producción vegetal. En la actualidad, el nitrógeno ha cobrado gran relevancia debido a los impactos ambientales asociados a su uso excesivo. La aplicación inadecuada de fertilizantes nitrogenados puede favorecer procesos de desnitrificación, generando emisiones de óxido nitroso (N_2O) hacia la atmósfera, así como pérdidas por lixiviación que contribuyen a la contaminación de acuíferos (Acevedo, 2003).

DEGRADACIÓN DE SUELOS

Según la FAO (2015), la degradación del suelo se refiere al deterioro de su calidad y estado de conservación, ocasionando una reducción en su capacidad presente o futura para sostener ecosistemas naturales o manejados, así como para proveer bienes y servicios a la población usuaria.

CONTAMINACIÓN DE SUELOS

Los plaguicidas, al final, terminan en el ambiente del suelo, donde son influenciados por diversos procesos que incluyen retención, transporte, degradación e interacciones entre ellos. Estos procesos favorecen la reducción de la cantidad inicial de plaguicida aplicado. Cuando los plaguicidas ingresan al ambiente, especialmente al suelo, pueden distribuirse en las fases líquida, sólida y gaseosa. En la fase líquida, estos compuestos pueden desplazarse junto con el agua hacia horizontes más profundos del suelo e incluso alcanzar las aguas subterráneas, donde quedan expuestos a transformaciones físicas, químicas y biológicas que originan diferentes compuestos. En la fase sólida, los plaguicidas son retenidos con distinta intensidad por los coloides orgánicos, como la materia orgánica, y por los coloides inorgánicos, como las arcillas presentes en el suelo. Asimismo, pueden

ser transportados por acción del agua durante los procesos de erosión hídrica o desplazarse por efecto del viento a través del aire. En la fase gaseosa, los plaguicidas pueden incorporarse a la atmósfera en forma de compuestos volátiles que se liberan del suelo o del agua. Estos procesos de retención, transporte y volatilización de los plaguicidas en el suelo y en el ambiente circundante están influenciados por diversos factores y pueden tener implicaciones en la contaminación ambiental. (Matos, 2011)

CALIDAD DEL SUELO

Hace referencia a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como a la interacción existente entre ellas. Para comprender adecuadamente la calidad del suelo, es necesario evaluar diversos parámetros relacionados con su funcionamiento. En este sentido, la calidad del suelo se entiende como la capacidad que posee para desempeñar funciones dentro de ecosistemas naturales o intervenidos por el ser humano, contribuyendo al mantenimiento o incremento de la productividad vegetal y animal, al control de la contaminación del agua y del aire, y a la protección de la salud y del hábitat humano. Asimismo, este concepto considera los efectos integrales ocasionados por los distintos usos y actividades tecnológicas sobre el suelo, tales como la erosión, salinización, acidificación, pérdida de materia orgánica y contaminación química.

Una característica innovadora es que la calidad del suelo no se limita únicamente a la producción agrícola, sino que se reconoce como parte de un sistema ecológico más amplio, con interacciones y efectos en otras áreas. La calidad del suelo se entiende como la capacidad que posee para mantener la producción sin presentar procesos de degradación ni generar impactos negativos sobre el medio ambiente. Asimismo, la evaluación continua y a largo plazo de sus propiedades permite determinar el estado de salud del suelo (Acton, 1995)

INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO

A pesar de la creciente preocupación relacionada con la

degradación y pérdida de calidad de los suelos, todavía no se han establecido criterios universales que permitan evaluar de manera general los cambios en su calidad (Arshad & Coen, 1992). Para comprender y aplicar este concepto de forma práctica, es necesario disponer de variables que permitan valorar la condición del suelo mediante sus propiedades, características o mediciones específicas. Estas variables son conocidas como indicadores, debido a que representan determinadas condiciones y brindan información sobre cambios o tendencias que ocurren en el suelo (Dumanski, 1998). Asimismo, los indicadores constituyen herramientas que facilitan la cuantificación y comunicación de fenómenos complejos, siendo ampliamente utilizados en diferentes áreas científicas como la economía, la salud, los recursos naturales y el estudio de la calidad del suelo. (Suárez, 2003)

Según Dumanski et al. (1998), es inaceptable la selección de un conjunto de indicadores para todas las situaciones, ya que en cada caso son diferentes. Sin embargo, se requiere que dichas comparaciones sean coherentes y estén estandarizadas tanto a nivel nacional como internacional de esa forma efectuar su realización y validación, lo cual es contrario a la opinión de los investigadores, quienes señalan que los indicadores utilizados deben ser representativos de las principales características o aspectos que se desean evaluar restricciones del suelo y evaluar las funciones esenciales, es por ello que se asume que la materia orgánica, la estructura, el pH, la erosión y la actividad biológica constituyen propiedades presentes en el suelo, tal como lo señala. (Suárez, 2003)

REQUISITOS QUE DEBEN PRESENTAR LOS INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO

Para evaluar la calidad del suelo considerando sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, es necesario tomar en consideración las siguientes condiciones:

- Se debe ver las características del medio del cual proviene el suelo.

- Integrar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo.
- Reflejar los atributos sostenibles que son relevantes para la medición de la calidad del suelo.
- Ser sensible a cambios climáticos y de accesibilidad.
- Deben ser de fácil acceso y aplicables en distintos tipos de usuarios y condiciones de campo.
- Deben presentar resultados reproducibles.
- Fácil comprensión
- Deben ser sensibles a las modificaciones del suelo ocasionadas por la intervención humana.
- Preferentemente, deben guardar relación con información previa o registros existentes sobre el suelo.

La disponibilidad de indicadores para evaluar la calidad del suelo puede variar según la ubicación, ya que depende de factores como los diferentes tipos de suelos presentes, los usos y funciones del suelo, y los factores que influyen en su formación. Arshad y Coen (1992). Para dicha selección se debe tener en cuenta una variedad de factores relacionados con la funcionalidad del suelo, en particular, los aspectos relacionados con la producción y el medio ambiente, Sin embargo, su evaluación puede resultar compleja debido a la gran cantidad de factores fisicoquímicos y microbiológicos que intervienen en los procesos biogeoquímicos del suelo, además de las variaciones que ocurren tanto en el tiempo como en el espacio (Doran et al., 1996).

INDICADORES FÍSICOS DE SUSTRATO

Considerado como el componente esencial para evaluar su calidad, ya que no pueden mejorarse fácilmente (Singer, 2000), los cuales son propiedades físicas que sirven para evaluar la calidad de sustrato, ya que están relacionadas con la capacidad del suelo para retener, transmitir y disponer de agua hacia las raíces de las plantas.

Además, estas también influyen en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración y desplazamiento del agua a través del perfil del suelo, así como en la disposición de las partículas del suelo y la porosidad. Por otro lado, también se incluyen la estructura del suelo, la densidad aparente, la estabilización de los agregados, la infiltración del agua en diferentes niveles del suelo, la capacidad de retención de líquidos y la conductividad hidráulica saturada. (Acevedo et al., 2005)

INDICADORES QUÍMICOS

Hacen referencia a las características químicas del suelo que influyen en la interacción entre el suelo y las plantas, el suministro y disponibilidad de agua, la capacidad de amortiguación y el aporte de nutrientes para las plantas y otros organismos. Entre los principales indicadores se encuentran la concentración de nutrientes, el contenido de carbono orgánico total y lábil, el potencial de hidrógeno (pH), la conductividad eléctrica (CE), la capacidad de adsorción de fosfatos, la capacidad de intercambio catiónico y las variaciones en el contenido de materia orgánica estas también son empleadas para la evaluación del estado de un medio o ecosistema, asimismo para el análisis de la condición en la que se encuentra. (Quiroga, 2007)

INDICADORES BIOLÓGICOS

También denominados indicadores biológicos, estos se encuentran estrechamente vinculados con la calidad del suelo, ya que permiten evidenciar la abundancia y actividad de macroorganismos y microorganismos, entre ellos bacterias y hongos. Estos organismos cumplen funciones esenciales dentro del suelo, tales como la respiración microbiana, la producción de ergosterol y otros compuestos derivados de los hongos, la descomposición de residuos orgánicos y la disponibilidad de nitrógeno y carbono presentes en la biomasa microbiana. Asimismo, debido a su alta sensibilidad frente a las variaciones del suelo, se ha propuesto el uso del carbono microbiano en relación con el carbono orgánico total como un indicador capaz de

detectar cambios tempranos en la materia orgánica del suelo (Yeates, 2003).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

REMEDIACIÓN

La remediación ambiental hace referencia a las acciones realizadas relacionadas a la eliminación y/o reducción de la contaminación que se ve presente en el medio ambiente para así poder proteger la salud humana y el entorno natural, dentro ello se encuentra una serie de operaciones que tienen como objetivo reducir la calidad del suelo contaminado, así como las aguas subterráneas asociadas, las cuales pueden incluir la eliminación y excavación de los contaminantes presentes en el suelo, por otro lado también se asume que es el proceso de corregir o restaurar un área que esta dañada o contaminada. (Casteblanco, 2018)

CALIDAD DE SUELOS

La calidad del suelo se fundamenta en la evaluación de la capacidad que posee un determinado tipo de suelo para sostener la productividad vegetal y animal, contribuir al mejoramiento de la calidad del agua y del aire, y favorecer la salud y bienestar humano. Para su evaluación existen principalmente dos enfoques: el primero consiste en realizar mediciones periódicas a lo largo del tiempo con la finalidad de identificar cambios y tendencias; mientras que el segundo se basa en comparar los valores obtenidos con una condición de referencia o estándar previamente establecida para el suelo (Cruz, 2004)

BIOCHAR (CARBÓN VEGETAL)

También conocido como "pyrocox", es un subproducto sólido carbonoso, se obtiene mediante el calentamiento de biomasa, como madera, estiércol y hojas, a temperaturas comprendidas entre 300 °C y 1000 °C bajo condiciones de escasa o nula presencia de oxígeno y este procedimiento recibe el nombre de pirólisis. (García et. al, 2014)

BIOMASA

Se referencia a la cantidad de materia y energía que constituye a los organismos vivos presentes en un determinado ambiente, ya sea suelo, agua o aire. sin importar la identidad de los organismos, asimismo se infiere que un organismo deja de estar vivo y pasa a la etapa de la muerte, su masa biológica se denomina necromasa. (García et. al, 2014)

ABONOS ORGÁNICOS

Los abonos orgánicos se originan a partir de materiales de procedencia vegetal, animal o fúngica, y su composición incluye nutrientes como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, los cuales están presentes en diferentes, algunos contienen los tres elementos, mientras que otros pueden tener solo dos o incluso uno de ellos. (Illatopa, 2018)

FERTILIDAD DEL SUELO

Se determina por su capacidad de incrementar su tamaño saludable de plantas , la disponibilidad de nutriente, retención del recurso hidrico, presencia de microorganismos y otros organismos beneficiosos, así como la ausencia de procesos que podrían comprometer su estructura, es importante considerar los aspectos químicos, físicos y biológicos del suelo que están interrelacionados y contribuyen a su fertilidad. (Porta, 2014)

SUELOS

El sustrato es un componente fundamental y limitado del medio ambiente, identificados como sistemas vivos, orgánicos y dinámicos que nos brindan una variedad de funciones y facilitan una amplia gama de servicios. Son especialmente necesarios para la biosfera, regulando el ciclo del agua, manteniendo el equilibrio del ecosistema y produciendo biomasa, como también los suelos son vitales para el desarrollo de la vida, ya que brindan el entorno necesario para el crecimiento y la supervivencia de todos los seres vivos. (Porta et al., 2014)

TEXTURA

Cuando se expresa la actividad microbiana en términos de porcentaje, se hace referencia a su distribución y abundancia en las diferentes fracciones de partículas del suelo, como arena, arcilla y limo. Estas características de las

partículas del suelo tienen un impacto en la distribución de la luz en el suelo y en la tasa de infiltración del agua. (Porta et al., 2014)

SUELO EROSIONADO

Se considera a los suelos que se han visto expuestos a cambios adversos específicamente en sus propiedades químicas, que están inmersos con el comportamiento del hombre y sus actividades diarias, asimismo se infiere como los daños significativos o leves como resultado de procesos naturales o causados por el hombre. Ambos tipos de procesos tienen un impacto en la calidad del suelo. (MINAM, 2014)

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPOTESIS GENERAL

Ha: Existe diferencia en la eficacia remediadora abono orgánico de cuyinaza y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (***Eucalytus***).

H0: No existe diferencia en la eficacia remediadora abono orgánico de cuyinaza y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (***Eucalytus***).

2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2

Comparación de la eficacia remediadora del abono orgánico y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivo de eucalipto (Eucalyptus)

Variable de calibración	Indicadores	Valor final	Tipo de variable
Remediación	Remediadores orgánicos	Cuyinaza Biocarbón de cuyinaza	Nominal dicotómica
Variable evaluativa	Indicadores	Valor final	Tipo de variable
Calidad de suelo con eucalipto	Parámetros físicos		
	- Humedad	Porcentaje (%)	
	- Textura	Triángulo de textura	
	Parámetros químicos		
	- Materia orgánica	Porcentaje (%)	
	- Ph	Unidad de pH	
	- Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	miliSiemens/cm(mS/cm)	Numérica continua
	- Conductividad	miliSiemens/cm(mS/cm)	
	- Nitrógeno	(mg/kg)	
	- Fosforo	(mg/kg)	
	- Potasio	(cmol(+)/kg)	
	- Magnesio	(cmol(+)/kg)	
	- Hierro	(mg/kg)	
	Parámetros biológicos		
	- Contenido de biomasa microbiana	(mg C/kg suelo)	

Nota: la tabla 2 es el cuadro de operacionalización de variables.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La participación de la tesista en el estudio fue con intervención del investigador, la tesista participó íntegramente en el proceso en la fabricación del abono orgánico con estiércol de cuy y en la elaboración del biocarbón (biochar) con estiércol de cuy, la tesista realizó el muestreo pre test y post test de las muestras de suelo. De acuerdo con el control de mediciones de la variable de estudio, la investigación fue desarrollada de manera prospectiva, lo que implica que los datos recopilados fueron primarios, es decir, fueron obtenidos directamente por el investigador. De acuerdo con el número de mediciones realizadas a la variable de estudio, la investigación correspondió a un diseño longitudinal, debido a eso se hizo más de una medición a la variable de evaluación, las muestras al laboratorio fueron enviados dos veces, la muestra de suelo inicial y la muestra con intervención de los abonos orgánicos elaborados a partir de estiércol de cuy (Supo y Zacarías, 2020).

La investigación fue cuantitativa y por lo tanto secuencial y evidenció que involucró múltiples procesos. Cada etapa antecede a la siguiente y no es posible omitir ningún procedimiento dentro del proceso. Aunque algunas fases pueden replantearse, el orden metodológico mantiene una secuencia estructurada. El proceso inicia con el planteamiento de una idea, de la cual se derivan los objetivos y las preguntas de investigación; posteriormente, se realiza la revisión bibliográfica y se construye el marco teórico o la perspectiva conceptual que permite formular hipótesis e identificar las variables del problema, desarrollándose finalmente un plan para poner a prueba el diseño de investigación (Hernández et al., 2010).

3.1.1. ENFOQUE

La investigación realizada fue cuantitativa y por lo tanto secuencial y evidenció que involucra múltiples procesos. Cada paso precedió al siguiente, y no se pudo saltar u omitir los pasos de investigación. El orden es rígido, aunque por supuesto se pudieron

redefinir algunas fases Se inició con el planteamiento de una idea, a partir de la cual se formularon los objetivos y las preguntas de investigación; posteriormente, se realizó la revisión de la literatura y se elaboró un marco teórico o perspectiva conceptual que permitió plantear la hipótesis e identificar las variables del problema (Hernández et al., 2010).

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El nivel de la presente investigación fue aplicativo, debido a que ya existían antecedentes relacionados con el comportamiento de las variables, por lo que se buscó demostrar las diferencias entre ambas. Asimismo, este tipo de investigación se caracteriza por emplear conocimientos y resultados científicos de manera rigurosa, organizada y sistemática para comprender la realidad. Según Supo y Zacarías (2020), la investigación aplicada es ampliamente utilizada porque integra aspectos teóricos y prácticos, considerando que toda investigación involucra problemas de ambas naturalezas.

3.1.3. DISEÑO

El diseño del proyecto realizado fue tipo experimento verdadero , porque fue cuenta con dos grupos para experimentar, se contó con el grupo control ya que el objetivo principal fue comparar, los grupos experimentales los cuales fueron intervenidos por dos diferentes tipos de abonos a base de estiércol de cuy, el grupo 0 no tuvo intervención, el grupo 1 fue intervenido con abono orgánico a base de cuyinaza y el grupo 2 fue intervenido biocarbón a base de cuyinaza de biocarbón, en ambos casos se realizaron 2 observaciones.(Supo y Zacarías, 2020).

G0: Grupo control

G1:O1 ---- X1----- O2

G2:O1 ---- X2----- O2

Donde:

G1 y G2: Grupo de estudio.

X1 y X2: Tratamiento (Abono orgánico de
cuyinaza y biochar de cuyinaza)

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

POBLACIÓN

En el ámbito de la investigación, La población se definió como el conjunto total de elementos, individuos, objetos o acontecimientos que presentan una o más características en común y que son de interés para el investigador por cuanto constituyen la fuente de información para el estudio (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

El estudio estuvo conformado por una población de 100 m² de suelos degradados por el cultivo de eucalipto, los cuales habían perdido el equilibrio de sus propiedades, limitando su productividad y presentando bajas concentraciones de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y hierro. Asimismo, se trabajó con una muestra representativa de 50 kg de suelo, de los cuales 1 kg fue destinado al pre test y 24.5 kg para cada tratamiento correspondiente. Se encuentra localizado en el caserío de Santa Rosa de Huanag, distrito de Huariaca, provincia y región Pasco.

MUESTRA

La muestra se define como un subconjunto de unidades seleccionadas de la población, con la finalidad de obtener información representativa para el estudio que permita describir, analizar y generalizar las características del total (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

El diseño experimental se basó en la aplicación de diferentes proporciones de enmienda orgánica respecto al suelo, estableciendo un grupo control sin tratamiento y tratamientos con incrementos progresivos de biofertilizante. En este contexto, se consideraron proporciones similares a estudios previos, donde se emplearon dosis específicas de estiércol de cuy como 20 % (2 kg de estiércol por 10 kg de suelo) y 40 % (4 kg de estiércol por 10 kg de suelo), con el fin de

evaluar su efecto en la recuperación de la fertilidad del suelo. Este enfoque fue tomado como referencia en la investigación Biorremediación de suelos salinos con enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno, Cusco–Perú, permite comparar la respuesta del sustrato frente a niveles crecientes de materia orgánica y sustenta el uso de proporciones escalonadas en el presente estudio (Aimituma-Franco et al., 2023).

Los modelos de estudio están constituidos por 10 m² de suelos degradados por el cultivo de eucalipto. La elección del tamaño de muestra responde a criterios estadísticos y operativos orientados a garantizar precisión, representatividad y viabilidad en la estimación de los parámetros de interés donde se utilizaron 11 kilos de muestra para análisis de laboratorio donde:

Muestra control: T0 (pre test) estuvo conformado por 1000 gramos de tierra sin ningún tratamiento.

Muestras de post test

Abono orgánico de cuyinaza: Donde para el estudio:

- T1 se mandó una muestra representativa de 1000 gramos de muestra (100 gr. de abono orgánico con 900 gr de tierra)
- T2 de 1000 gramos de muestra (200 gr. de abono orgánico con 800 gr de tierra)
- T3 de 1000 gramos de muestra (300 gr. de abono orgánico con 700 gr de tierra)
- T4 de 1000 gramos de muestra (400 gr. de abono orgánico con 600 gr de tierra)
- T5 de 1000 gramos de muestra (500 gr. de abono orgánico con 500 gr de tierra)

Biocarbon de cuyinaza: Donde para el estudio:

- T1 se mandó una muestra representativa de 1000 gramos de

muestra (100 gr. Biocarbon de cuyinaza con 900 gr de tierra)

- T2 1000 gramos de muestra (200 gr. Biocarbon de cuyinaza con 800 gr de tierra)
- T3 1000 gramos de muestra (300 gr. de Biocarbon de cuyinaza con 700 gr de tierra)
- T4 1000 gramos de muestra (400 gr. de Biocarbon de cuyinaza con 600 gr de tierra)
- T5 1000 gramos de muestra (500 gr. de Biocarbon de cuyinaza con 500 gr de tierra)

El tamaño de muestra utilizado en la investigación se justificó en función del diseño experimental y del tipo de análisis estadístico aplicado. El estudio se desarrolló bajo un esquema de mediciones repetidas (T0 como control y T1–T5 como tratamientos), donde se evaluó la variación de los mismos sujetos experimentales a lo largo del tiempo, lo que permitió maximizar la información obtenida a partir de un número limitado de unidades experimentales.

En este contexto, no fue necesario un tamaño muestral elevado, debido a que el diseño longitudinal incrementa la potencia estadística al comparar los mismos datos en diferentes momentos o condiciones. Asimismo, al tratarse de una muestra relativamente pequeña, se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, debido a que es una de las más recomendadas para muestras pequeñas, especialmente cuando se cuenta con menos de 30 observaciones, permitiendo determinar si los datos seguían una distribución normal.

Los resultados evidenciaron que los datos no presentaban normalidad ($p < 0.05$), por lo que se optó por el uso de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Esta prueba es adecuada para comparar tres o más grupos independientes sin requerir el supuesto de normalidad, siendo especialmente útil en estudios con tamaños de muestra pequeños o con datos no normales.

Además, las pruebas no paramétricas como Kruskal-Wallis fueron consideradas robustas frente a muestras reducidas y permiten detectar diferencias significativas entre tratamientos cuando existe variabilidad en los datos, lo que valida el tamaño de muestra utilizado.

En consecuencia, el muestreo empleado es estadísticamente válido, ya que:

- El diseño experimental (pre test – post test con múltiples tratamientos) incrementa la eficiencia del análisis.
- Se utilizaron pruebas adecuadas para muestras pequeñas.
- Se lograron identificar diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), evidenciando suficiente potencia estadística para contrastar la hipótesis planteada.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 3

Cuadro de Instrumentos o recursos

Variable	Indicadores	Técnica	Instrumentos o recursos
Variable de calibración	biofertilizantes	Observación	Ficha de observación
Remediación			
Variable de evaluación	Parámetros físicos • Materia orgánica • Humedad • Textura Parámetros químicos • Ph • CIC • Conductividad Parámetro biológico • Contenido de biomasa microbiana • Rendimiento del cultivo • Nutrientes • Nitrógeno • Fosforo • Potasio • Magnesio • Hierro	Observación	Parámetros físicos • Calcímetro • Tensiómetro • Equipo de pipeta Parámetros químicos • Ph – metro • Espectrofotometría • Ph – metro Parámetros biológicos • Calcímetro • Calcímetro • Calcímetro • Nutrientes • Fotómetro • Fotómetro • Fotómetro • Fotómetro • Fotómetro

Nota: cuadro de instrumentos y técnicas a implementarse.

3.3.1. PARA LA RECOLECCION DE DATOS

La metodología empleada de recolección de datos se sustentó en la Guía para el Muestreo de Suelos y en lo establecido por el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM, mediante el cual se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos. Este marco normativo establece los criterios para identificar alteraciones del suelo, determinar el alcance de los contaminantes en sentido horizontal y vertical, evaluar niveles en cuanto a cimentación y verificar si las medidas de remediación han permitido reducir las concentraciones detectadas.

Donde se usa la Guía de Muestreo de sustratos (2014) se justificó como un instrumento técnico de referencia para asegurar la correcta recolección, manejo y representatividad de las muestras de suelo durante la fase de campo. Aunque la investigación no tuvo como finalidad la evaluación bajo los ECA para suelos establecidos en el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM, la guía fue empleada como orientación metodológica para garantizar la calidad del muestreo.

Específicamente, se aplicaron los lineamientos relacionados con la fase de muestreo, tales como la delimitación del área de investigación y la identificación de los puntos de muestreo, la profundidad de recolección, el número de submuestras para conformar muestras compuestas, así como las condiciones de conservación, rotulado y transporte de las muestras. Estos procedimientos permitieron minimizar errores y asegurar la confiabilidad de los resultados obtenidos en los análisis físicos, químicos y biológicos del suelo.

Cabe señalar que la guía fue utilizada únicamente como referencia técnica de campo y no de evaluación en cumplimiento de los ECA suelo, dado que el objetivo del estudio fue comparar la eficacia remediadora de tratamientos (abono orgánico y biocarbón), más no determinar niveles de contaminación.

Durante la ejecución del proyecto de investigación se cumplieron los siguientes lineamientos:

- Los instrumentos empleados en la investigación se encontraron en buen estado, calibrados y debidamente desinfectados.
- El área de muestreo estuvo libre de rastros, residuos o materia en descomposición que pudieran haber alterado los resultados analíticos.
- El plan de muestreo estuvo claramente definido, a fin de evitar complicaciones en su aplicación.

Las actividades que se realizaron antes de elaborar el plan adecuado de muestreo para el área de estudio se tuvieron que tener en cuenta cuáles son las herramientas y métodos que íbamos a necesitar. Todos los instrumentos que se van a requerir estuvieron en buen estado y desinfectados para evitar la proliferación de bacterias u otros agentes patógenos, el área de estudio estuvo libre de rastros u otra materia descompuesta que pudieran alterar el resultado obtenido del laboratorio y el plan estuvo detallado para no tener complicaciones con el procedimiento al realizarlo.

El levantamiento de muestras del suelo se llevó a cabo antes de la implementación del proyecto.

- La identificación del área de interés potencial se realizó considerando la información obtenida de la revisión histórica y del reconocimiento técnico efectuado durante la inspección del lugar.
- La obtención de coordenadas geográficas de la zona a muestrear.
- Las perforaciones fueron de 30 cm de profundidad ya que se trata de un suelo duro.
- Se trazaron líneas en forma triangular y se procedió a tomar 4 muestras tal como lo indica la siguiente imagen.

PREPARACIÓN DE TERRENO EXPERIMENTAL

Se realizó la limpieza del área destinada a la experimentación, eliminando malezas, rastrojos y otros elementos no deseados. Posteriormente, se procedió a la remoción y volteo del suelo mediante labores manuales, con el fin de mejorar la aireación y la permeabilidad.

DEMARCACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL

El área experimental, al ser un ensayo de carácter ex situ, se organizpo en dos bloques, cada uno con dos parcelas, conforme al diseño planteado.

Para ello se utilizó estacas, jalones, cordel, cal y martillo. Se elaboró un croquis detallado que muestre la ubicación de parcelas, bloques, accesos y viviendas cercanas.

INSTALACIÓN EN CAMPO EXPERIMENTAL

La instalación se ejecutó de acuerdo con el croquis experimental. En cada parcela se aplicaron los tratamientos con remedidores orgánicos, los cuales tuvieron como finalidad:

- Mejorar la estructura del suelo.
- Incrementar su capacidad de retención de agua.
- Aportar materia orgánica de calidad.
- Estimular la diversidad y actividad microbiana.

Se dispusieron los dos bloques, cada uno de ellos contenía 2 parcelas, donde se pasó aplicar los tratamientos que corresponden a los remedidores orgánicos con el fin de mejorar la estructura del suelo, también la capacidad que tienen de retener el agua, el aporte de materia orgánica también fue la adecuada porque estos presentaro no debía sobrepasar una riqueza en la materia. También se estimularon la población microbiana que hay.

Tabla 4

Proporciones de aplicación de abono orgánico y biocarbón de cuyinaza en el suelo

Abono orgánico	Biocarbón de cuyinaza
1000 gr de suelo – 100 gr de abono	1000 kg de suelo – 100 gr de biocarbón

Nota: Las proporciones se expresan en base a peso seco de suelo y material aplicado.

En investigaciones previas sobre la evaluación de propiedades químicas y biológicas en suelos tratados con hojarasca de *Eucalyptus* y otros residuos vegetales, se observó que las cantidades empleadas en los ensayos de laboratorio suelen oscilar entre 100 y 600 gramos por unidad experimental, dependiendo del objetivo del estudio y del tipo de análisis a realizar (Guerra, 2019; Pineda et al., 2021).

Dosis mayores (>15 %) pueden generar condiciones artificiales, alterando la textura o compactación del suelo; mientras que dosis muy bajas (<5 %) podrían no mostrar cambios detectables. El 10 % representa un punto medio que simula aplicaciones factibles en campo y al mismo tiempo permite detectar respuestas medibles en condiciones de laboratorio.

Siguiendo dichos antecedentes, en el presente estudio se definió emplear 100 gramos de material por tratamiento en cada grupo experimental, cantidad suficiente para:

- Representar homogéneamente la composición de la hojarasca y del suelo degradado.
- Garantizar disponibilidad de muestra para las determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas planificadas.
- Facilitar la manipulación y procesamiento en condiciones controladas de laboratorio sin riesgo de pérdida de materia.

Una vez instalado se realizaron labores de limpieza semanal y en casos de algunos cambios climáticos se realizó la limpieza con mayor

frecuencia, este proceso se llevó a cabo por los tres meses de ejecución.

Tomando en cuenta a la vez los cambios que se pueden encontrar a través de la observación.

MUESTREO POST – TEST

Una vez finalizada la fase de aplicación de tratamientos, se procedió a la toma de muestras de suelo con la finalidad de evaluar los resultados obtenidos en condiciones ex situ:

- Se realizaron perforaciones de hasta 30 cm de profundidad, considerando la dureza del suelo.
- Según lo indicado se realizó 11 muestras que fueron almacenadas en bolsas de polietileno densa
- Teniendo la muestra representativa, se procedió a embolsarse y a etiquetarla.

Etiquetado

- Se colocó en un lugar notable y el tamaño no debía sobrepasar la dimensión del recipiente y se pegó bien para evitar que se extravíe.
- La etiqueta que se pegó en las muestras, se tuvo la información necesaria: Lugar de muestreo, número de identificación, nombre del estudio y hora/ fecha del muestreo y la inicial del encargado del muestreo.
- La impresión de la etiqueta fue con tinta indeleble.
- Cuando terminó la etapa de muestreo se procedió a realizar el registro y etiquetado de cada muestra.

La cadena de custodia debe contener mínimo:

- Se colocó en un lugar notable y el tamaño no debe sobrepasar la dimensión del recipiente y se pegó bien para evitar que se extravíe.
- La etiqueta que se pegó en las muestras, se tuvo la información

necesaria: Lugar de muestreo, número de identificación, nombre del estudio y hora/ fecha del muestreo y la inicial del encargado del muestreo.

- La impresión de la etiqueta fue con marcador de tinta permanente.
- Al terminar la etapa en muestreo sigue realizar el tomar datos y etiquetado de cada muestra.

SONDEO DE SUELOS POSTERIOR DE LOS TRATAMIENTOS

Luego de efectuar lo plasmado en la tesis, de acuerdo a la base de la Guía para el Muestro de Suelo, nos indica lo siguiente:

- Colocación de los sectores de muestreo.
- Colocación de los 6 sectores de muestra.
- Toma de los ejemplares de suelos.

La recolección de muestras de suelo se realizó a una profundidad de 30 cm en las unidades experimentales. Se obtuvieron cinco muestras individuales de las parcelas tratadas. Posteriormente, se etiquetaron y registraron las muestras recolectadas, siguiendo el protocolo de custodia establecido.

MUESTRAS TRASLADADAS PARA SU POSTERIOR ANÁLISIS

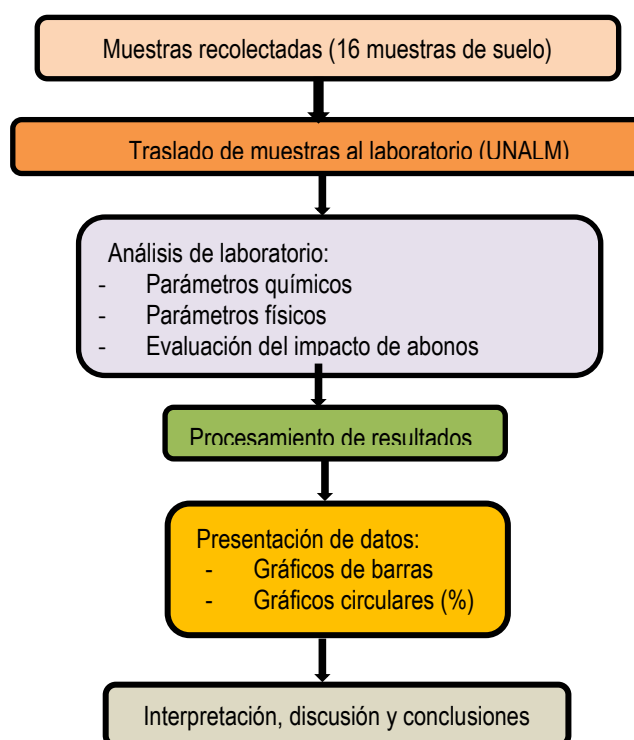
Finalmente, las cinco muestras de suelo fueron enviadas al Laboratorio Central UNAS, con el propósito de realizar el análisis correspondiente. El objetivo de dicho análisis es determinar el impacto de los abonos orgánicos sobre la recuperación de suelos degradados.

Para la presentación de datos, se consideró usar distintos gráficos desde el empleo de gráficos de barras, que ayudaron a comparar los resultados que se obtuvieron de forma más didáctica y entendible, Se tomó cuenta también el gráfico circular para conocer el porcentaje de cada parámetro a analizar en el presente estudio se

trabajó con porcentajes expresados al 100 %. Ambos gráficos facilitaron la interpretación y el análisis de los resultados, además de contribuir de manera significativa en la elaboración de la discusión y las conclusiones del presente estudio.

Figura 5

Flujograma de procedimiento experimental



Nota: El esquema muestra las etapas seguidas desde la recolección de muestras hasta la interpretación y discusión de los resultados obtenidos.

3.3.2. PARA LA PRESENTACION DE DATOS

En el presente estudio, los resultados obtenidos de los análisis físicos, químicos y microbiológicos fueron organizados y presentados mediante tablas, cuadros y gráficos, siguiendo el estilo narrativo propio de los artículos científicos, lo cual permitió una interpretación clara, ordenada y coherente de la información, facilitando su integración en la discusión con autores y las conclusiones de la investigación.

Asimismo, la información fue presentados de manera cuantitativa, empleando tablas y representaciones gráficas que permitieron visualizar el comportamiento de las variables, favoreciendo

así el análisis estadístico y una mejor comprensión de los resultados obtenidos.

3.3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

En el presente estudio se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics, el cual permitió procesar, organizar y analizar de manera sistemática los datos obtenidos en campo garantizando rigurosidad en el tratamiento de la información. En una primera etapa, se realizó la codificación y depuración de los datos, seguida de un análisis descriptivo a través de medidas de tendencia central y de variabilidad y se elaboraron representaciones gráficas, tales como diagramas de barras e histogramas, con la finalidad de facilitar la interpretación visual de los resultados.

Posteriormente, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk con la finalidad de determinar la normalidad de los datos, es decir, determinar si estos se ajustaban a una distribución normal. Este procedimiento resulta fundamental para definir el tipo de análisis estadístico a emplear. De acuerdo con los resultados obtenidos, se evidenció que los datos no presentaban una distribución normal ($p < 0,05$), por lo que se descartó la aplicación de pruebas paramétricas como la T de Student.

Por consiguiente, se decidió aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, la cual permitió comparar los diferentes tratamientos evaluados sin requerir el cumplimiento del supuesto de normalidad. Esta prueba se utilizó con un nivel de significancia del 5% ($p < 0,05$), con la finalidad de determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. aplicados en suelos degradados por cultivos de eucalipto y finalmente los resultados obtenidos fueron interpretados y discutidos en relación con la hipótesis planteada, asegurando una presentación clara, coherente y científicamente fundamentada de la información.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS ANALIZADOS DURANTE EL ESTUDIO

Se observa que ambos tratamientos muestran una mejora progresiva a través del tiempo en indicadores asociados a recuperación de calidad del suelo.

PARA LOS PARÁMETROS FÍSICOS:

Tabla 5

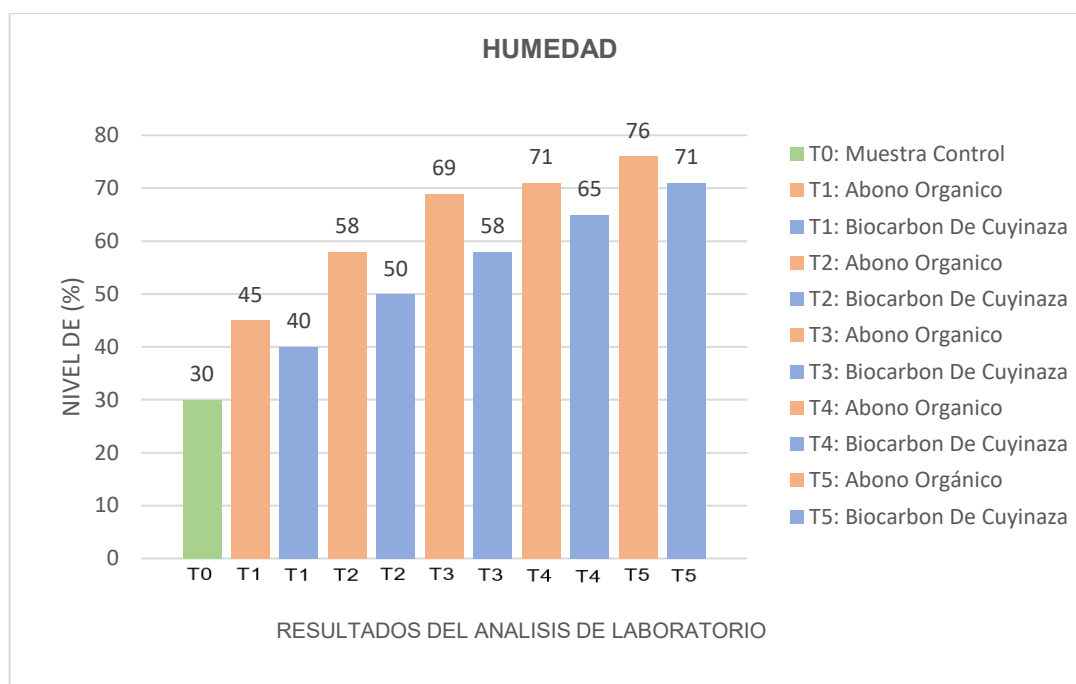
Resultados del análisis del parámetro físico pre y post tratamiento

INDICADOR	T0: Muestra Control	T1: Abono Orgánico	T1: Biocarbon De Cuyinaza	T2: Abono Orgánico	T2: Biocarbon De Cuyinaza	T3: Abono Orgánico	T3: Biocarbon De Cuyinaza	T4: Abono Orgánico	T4: Biocarbon De Cuyinaza	T5: Abono Orgánico	T5: Biocarbon De Cuyinaza
Humedad (%)	30	45	40	58	50	69	58	71	65	76	71
Textura	FA - L	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F

Nota: El cuadro 5 muestra los resultados de los parámetros físicos recibidos del laboratorio; Franco Arcilloso (FA), Limoso(L) y Franco(F).

Figura 6

Comportamiento del parámetro de la humedad



Nota: La figura 6 muestra la variación entre las muestras del parámetro de la humedad.

Interpretación: Se observa que ambos tratamientos, abono orgánico y biocarbón de cuyinaza, contribuyen a la recuperación del suelo erosionado por el cultivo de eucalipto (*Eucalyptus*). El suelo control (T0) presenta un nivel de humedad de 30 %, evidenciando una baja capacidad de retención de agua propia de suelos degradados. Sin embargo, en los tratamientos aplicados se registra un incremento progresivo de la humedad. El abono orgánico alcanza valores más altos, llegando hasta 76 % en el tratamiento T5, mientras que el biocarbón de cuyinaza alcanza 71 % en el mismo tratamiento. Esta diferencia indica que el abono orgánico presenta mayor eficacia en la recuperación de la calidad del suelo, ya que mejora en mayor medida la capacidad de retención de agua, favoreciendo la estructura del suelo y la disponibilidad hídrica.

PARA LOS PARÁMETROS QUÍMICOS:

Tabla 6

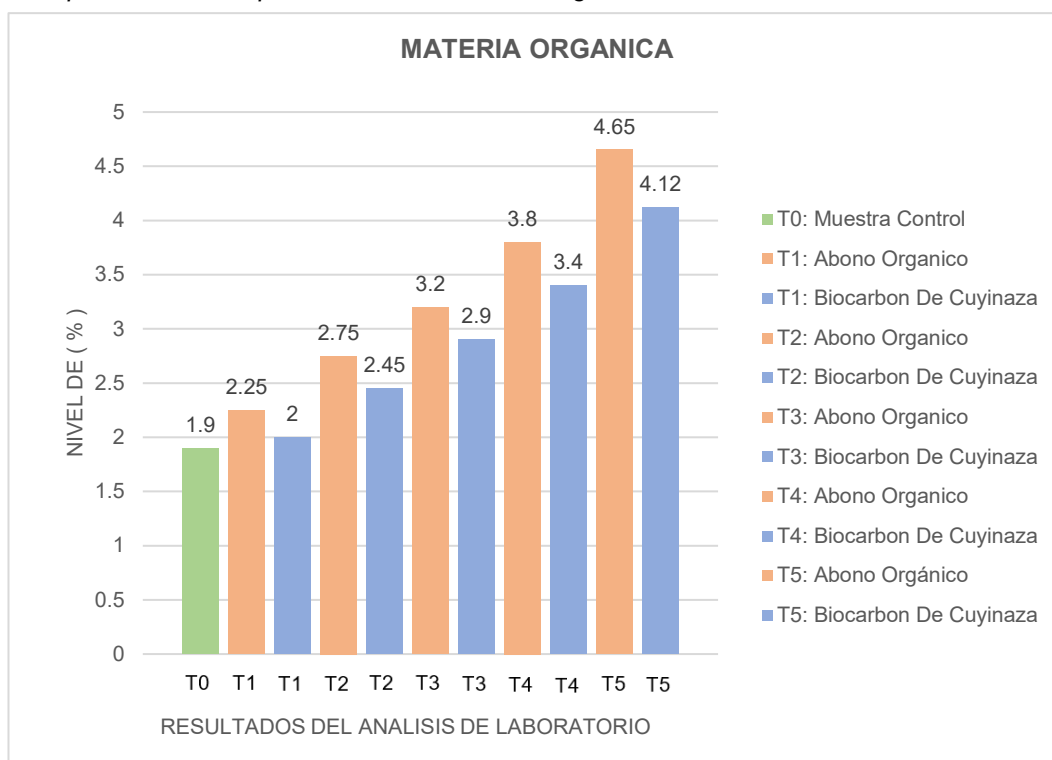
Parámetros químicos

INDICADOR	T0: Muestra Control	T1: Abono Orgánico	T1: Biocarbon De Cuyinaza	T2: Abono Orgánico	T2: Biocarbon De Cuyinaza	T3: Abono Orgánico	T3: Biocarbon De Cuyinaza	T4: Abono Orgánico	T4: Biocarbon De Cuyinaza	T5: Abono Orgánico	T5: Biocarbon De Cuyinaza
Materia orgánica (%)	1.9	2.2 5	2	2.7 5	2.4 5	3.2	2.9	3.8	3.4	4.6 5	4.1 2
pH (0-14)	8.13	8.1 1	8.1	7.5	7.7	7.1	7.5	6.8	7.3	6.7	7.1
CIC (cmol(+)/kg)	5	7.5	7	10	9	15	14	21	19	24	22
Conductividad (Ds/ cm)	13.7 9	9.1	11. 5	7.6	8	4.5	6.1	2.8	3.1	1.9	2.5
Nitrógeno (mg/kg)	0.04	0.1 5	0.1 5	0.2 3	0.1 9	0.2 5	0.2 1	0.2 5	0.2 3	0.2 8	0.2 4
Fósforo (mg/kg)	8	11	10	17	15	25	23	33	30	39	35
Potasio (cmol(+)/kg)	0.2	0.3 5	0.2 5	0.4 9	0.4	0.6	0.5	0.7 5	0.6 5	0.9 2	0.8 5
Magnesio (cmol(+)/kg)	0.25	0.3 5	0.3	0.5 8	0.4 3	0.9 9	0.8	1.4	1.2	1.8	1.5 5
Hierro (mg/kg)	3	5	4	9	7	12	11	16	13	18	15

Nota: El cuadro muestra los resultados de los parámetros químicos recibidos del laboratorio;

Figura 7

Comportamiento del parámetro de la materia orgánica

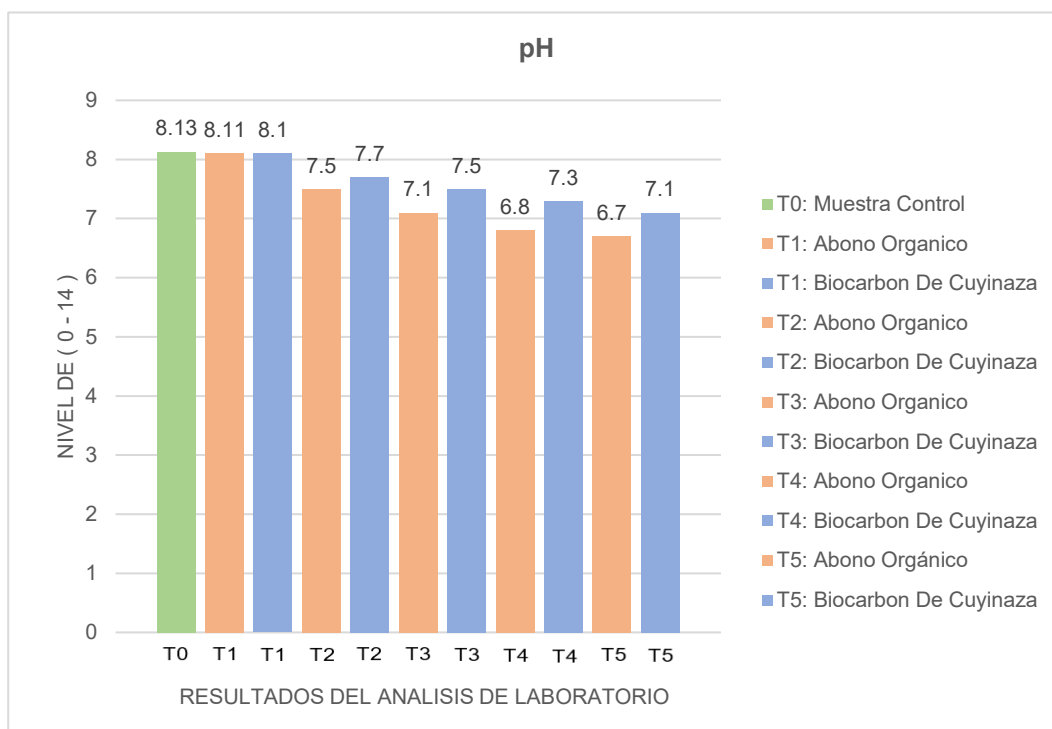


Nota: La figura 7 muestra la variación entre las muestras del parámetro de materia orgánica.

Interpretación: Los resultados del gráfico muestran que el suelo control (T0) presenta un contenido de materia orgánica de 1.9 %, lo que indica una baja fertilidad, característica común en suelos erosionados por el cultivo de eucalipto (*Eucalyptus*). Sin embargo, con la aplicación de abono orgánico y biocarbón de cuyinaza se observa un incremento progresivo en este parámetro. El abono orgánico registra valores mayores en todos los tratamientos, aumentando desde 2.25 % en T1 hasta 4.65 % en T5, mientras que el biocarbón de cuyinaza también mejora el contenido de materia orgánica, alcanzando valores de 2 % a 4.12 %. Estos resultados evidencian que ambos tratamientos contribuyen a mejorar la fertilidad y la estructura del suelo, favoreciendo la actividad biológica y la disponibilidad de nutrientes. En comparación, el abono orgánico presenta mayor eficacia en la recuperación de la calidad del suelo, debido a que incrementa en mayor proporción el contenido de materia orgánica, lo que favorece la regeneración de suelos degradados provocados por el eucalipto (*Eucalyptus*) y mejora sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Figura 8

Comportamiento del parámetro de pH

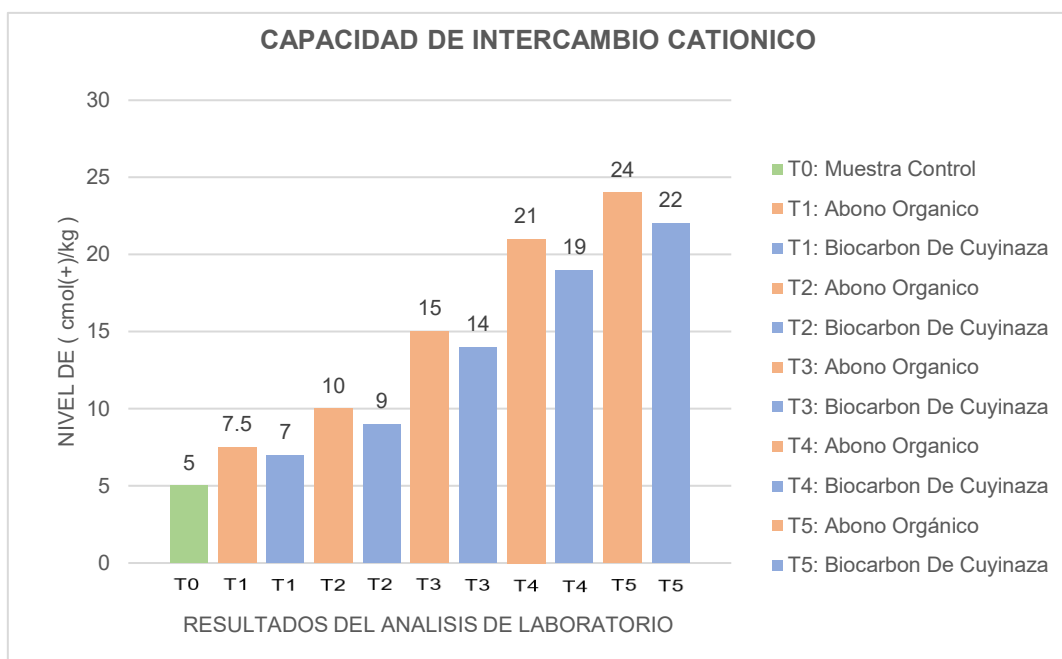


Nota: La figura 8 muestra la variación entre las muestras del parámetro de pH.

Interpretación: Los resultados del gráfico indican que el suelo control (T0) presenta un pH de 8.13, lo que evidencia una condición ligeramente alcalina, característica que puede afectar la disponibilidad de nutrientes en suelos degradados por el cultivo de eucalipto (*Eucalyptus*). Con la aplicación de abono orgánico y biocarbón de cuyinaza se observa una disminución gradual del pH, acercándose a valores más cercanos a la neutralidad, que son más favorables para la actividad biológica del suelo y la disponibilidad de nutrientes. El abono orgánico reduce el pH desde 8.11 hasta 6.7, mientras que el biocarbón de cuyinaza registra valores entre 8.1 y 7.1. En comparación, el abono orgánico muestra mayor eficacia en la recuperación de la calidad del suelo, ya que logra una mayor reducción del pH hacia rangos más adecuados para el desarrollo de cultivos y la mejora de las propiedades químicas del suelo. No obstante, ambos tratamientos contribuyen positivamente a la remediación del suelo erosionado, favoreciendo el equilibrio químico del suelo.

Figura 9

Comportamiento del parámetro de capacidad de intercambio catiónico

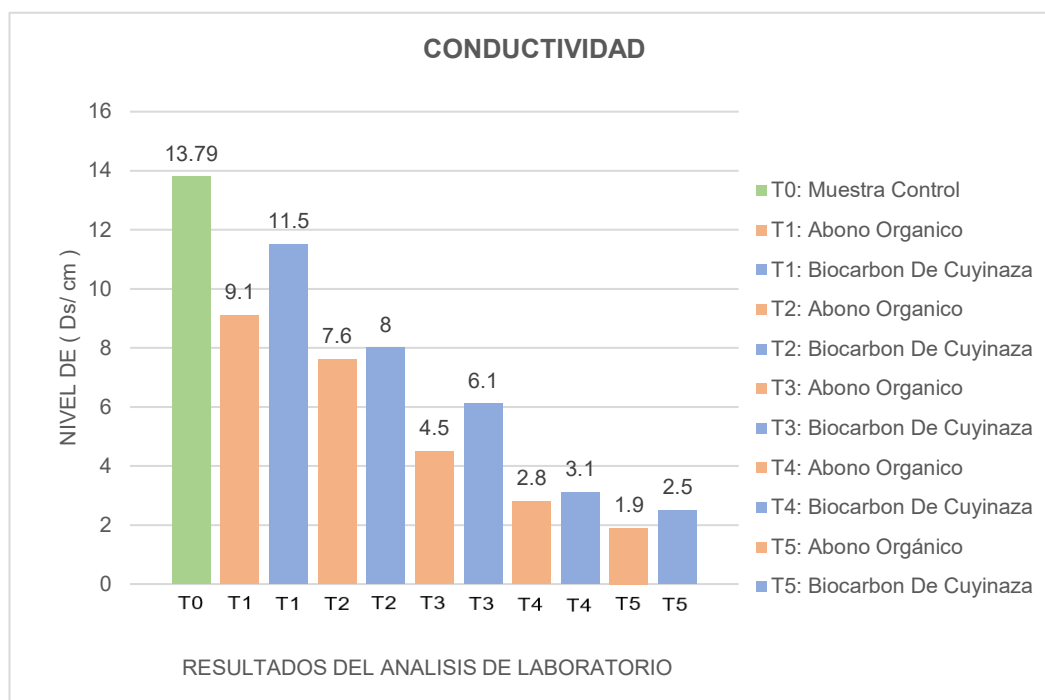


Nota: La figura 9 muestra la variación entre las muestras del parámetro de capacidad de intercambio catiónico.

Interpretación: Los resultados evidencian que el suelo control (T0) presentó una capacidad de intercambio catiónico de 5 cmol(+)/kg, lo que refleja una baja capacidad para retener y proporcionar nutrientes al suelo, condición común en suelos erosionados por el cultivo de eucalipto (*Eucalyptus*). Con la aplicación de abono orgánico y biocarbón de cuyinaza se observa un incremento progresivo de la CIC en todos los tratamientos. El abono orgánico registra valores que aumentan desde 7.5 hasta 24 cmol(+)/kg, mientras que el biocarbón de cuyinaza alcanza valores entre 7 y 22 cmol(+)/kg. Este incremento evidencia una mejora en la capacidad del suelo para retener nutrientes esenciales y contribuir a su fertilidad. Al comparar ambos tratamientos, el abono orgánico presenta una mayor eficacia en la recuperación de la calidad del suelo, debido a que logra valores más altos de CIC, lo que contribuye a mejorar la disponibilidad de nutrientes y la productividad del suelo. No obstante, ambos tratamientos muestran efectos positivos en la remediación del suelo erosionado, favoreciendo la recuperación de sus propiedades químicas.

Figura 10

Comportamiento del parámetro de conductividad

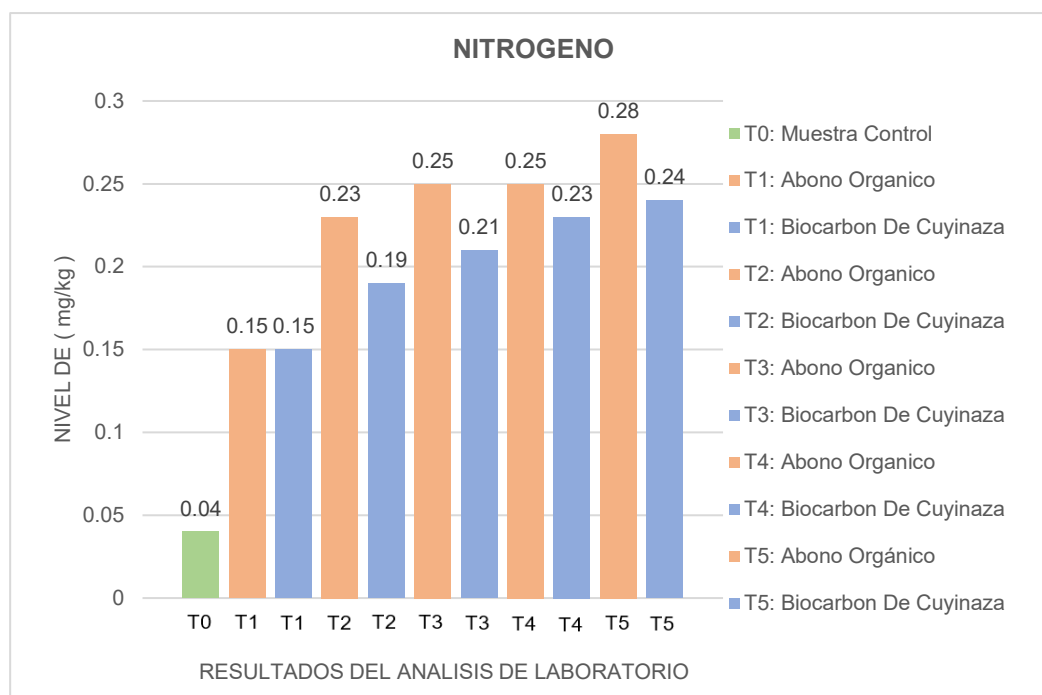


Nota: La figura 10 muestra la variación entre las muestras del parámetro de conductividad.

Interpretación: El T0 (muestra control) presenta el valor más alto de conductividad eléctrica con 13.79 dS/cm, indicando una elevada concentración de sales en el suelo con la aplicación de abono orgánico y biocarbón de cuyinaza, se evidencia una disminución progresiva de este parámetro en los diferentes tratamientos. El mejor resultado se presenta en T5 con abono orgánico (1.9 dS/cm), seguido por T5 con biocarbón de cuyinaza (2.5 dS/cm). Estos resultados evidencian que ambos tratamientos contribuyen a reducir la conductividad eléctrica del suelo, siendo el abono orgánico el más eficiente en la disminución de la salinidad provocado por eucalipto (*Eucalyptus*).

Figura 11

Comportamiento del parámetro de nitrógeno

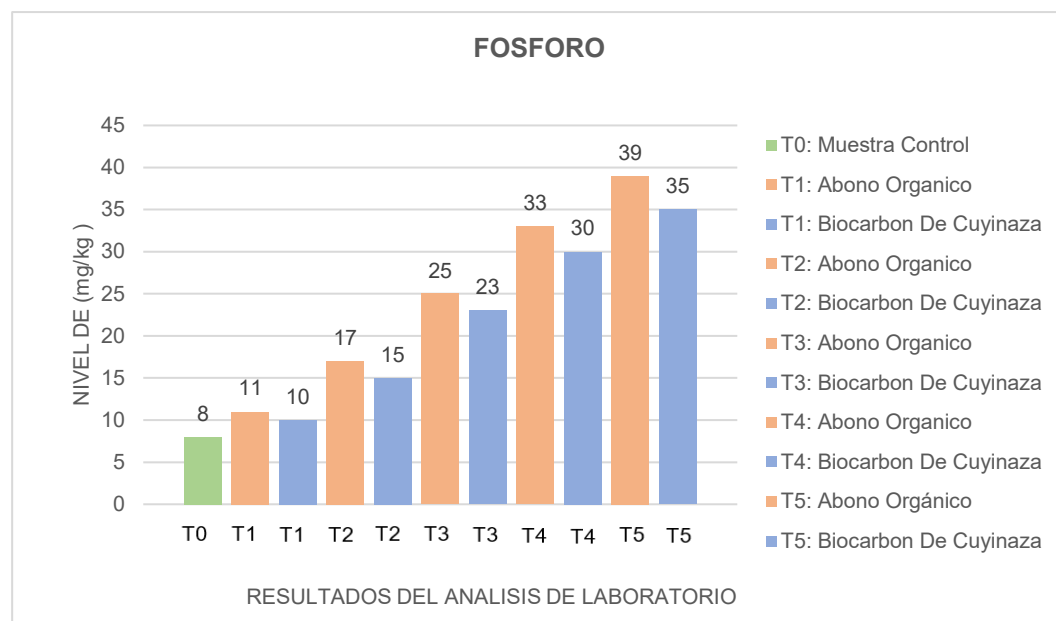


Nota: La figura 11 muestra la variación entre las muestras del parámetro de nitrógeno.

Interpretación: El T0 presenta el valor más bajo con 0.04 mg/kg, lo que evidencia una baja disponibilidad de nitrógeno en el sustrato.. Con la aplicación de abono orgánico y biocarbón de cuyinaza, se observa un incremento progresivo del nitrógeno en los tratamientos evaluados. El mejor resultado se registra en T5 con abono orgánico (0.28 mg/kg), seguido por T5 con biocarbón de cuyinaza (0.24 mg/kg). Estos resultados muestran que ambos tratamientos contribuyen a mejorar el contenido de nitrógeno del suelo, siendo el abono orgánico el más eficiente en este parámetro perjudicado por eucalipto (*Eucalyptus*).

Figura 12

Comportamiento del parámetro de fósforo

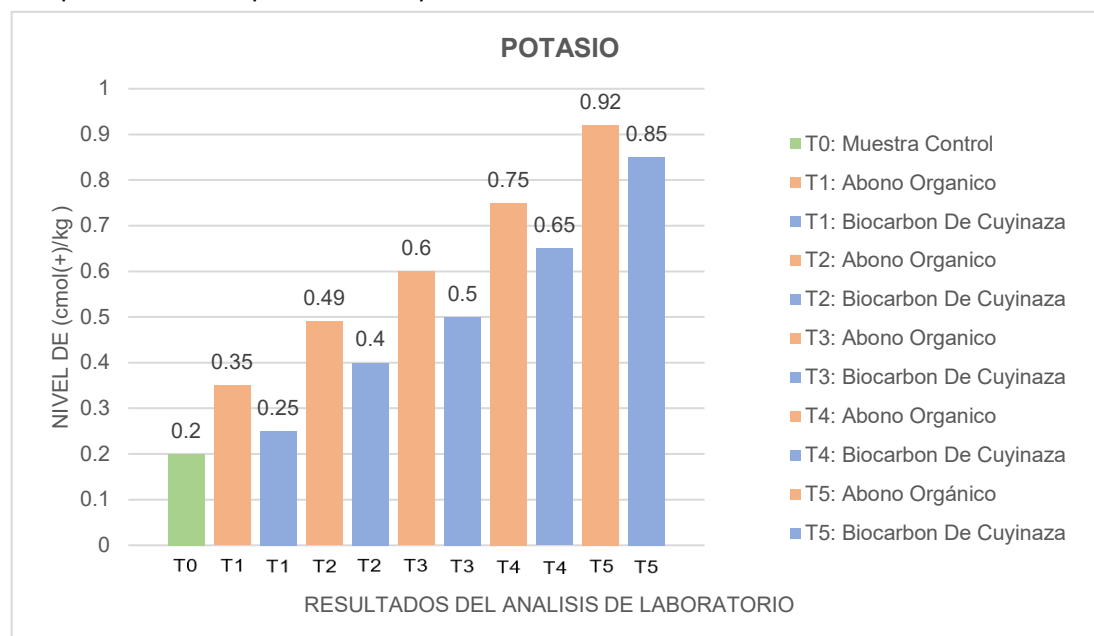


Nota: La figura 12 muestra la variación entre las muestras del parámetro de fósforo.

Interpretación: La figura muestra que el tratamiento control T0 presenta 8 mg/kg de fósforo en el suelo degradado por el cultivo de *Eucalyptus*, lo que evidencia baja fertilidad del suelo y con la aplicación de los tratamientos, el fósforo aumenta progresivamente en ambos abonos; sin embargo, el abono orgánico presenta valores ligeramente mayores que el biocarbón de cuyinaza en todos los tratamientos. El mejor resultado se observa en T5, donde el abono orgánico alcanza 39 mg/kg, superando al biocarbón (35 mg/kg). Por ello, T5 con abono orgánico es más efectivo para mejorar la calidad del suelo degradado eucalipto (*Eucalyptus*) lo cual contribuye a mejorar el suelo degradado porque favorece el desarrollo radicular de las plantas, estimula el crecimiento vegetal y mejora la fertilidad del suelo

Figura 13

Comportamiento del parámetro de potasio

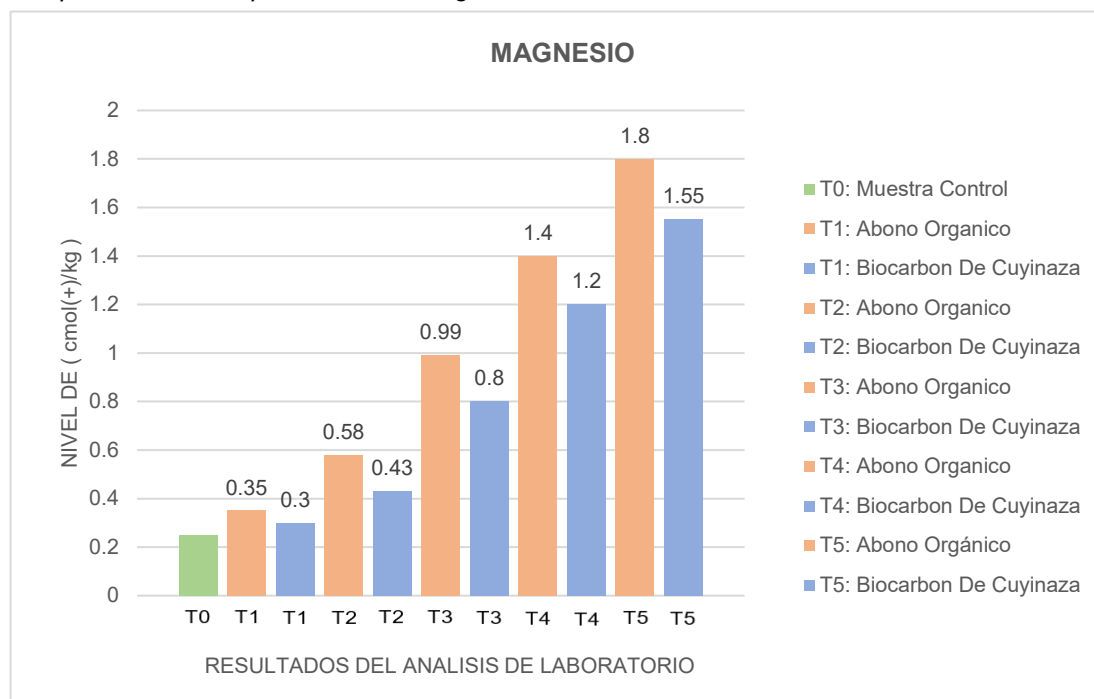


Nota: La figura 13 muestra la variación entre las muestras del parámetro de potasio.

Interpretación: La figura muestra que el tratamiento control T0 presenta 0.20 cmol(+)/kg de potasio en el suelo degradado por el cultivo de *Eucalyptus*, lo que indica una baja disponibilidad de este nutriente y al aplicar los tratamientos, el potasio aumenta progresivamente en ambos abonos; sin embargo, el abono orgánico presenta valores ligeramente mayores que el biocarbón de cuyinaza en todos los tratamientos. El mejor resultado se observa en T5, donde el abono orgánico alcanza 0.92 cmol(+)/kg, superando al biocarbón (0.85 cmol(+)/kg). Por ello, T5 con abono orgánico es el tratamiento más eficaz para mejorar la calidad del suelo degradado por eucalipto (*Eucalyptus*) y el incremento de potasio contribuye a mejorar el suelo degradado porque favorece la absorción de agua y nutrientes, fortalece el crecimiento de las plantas y mejora la resistencia frente a condiciones de estrés.

Figura 14

Comportamiento del parámetro de magnesio

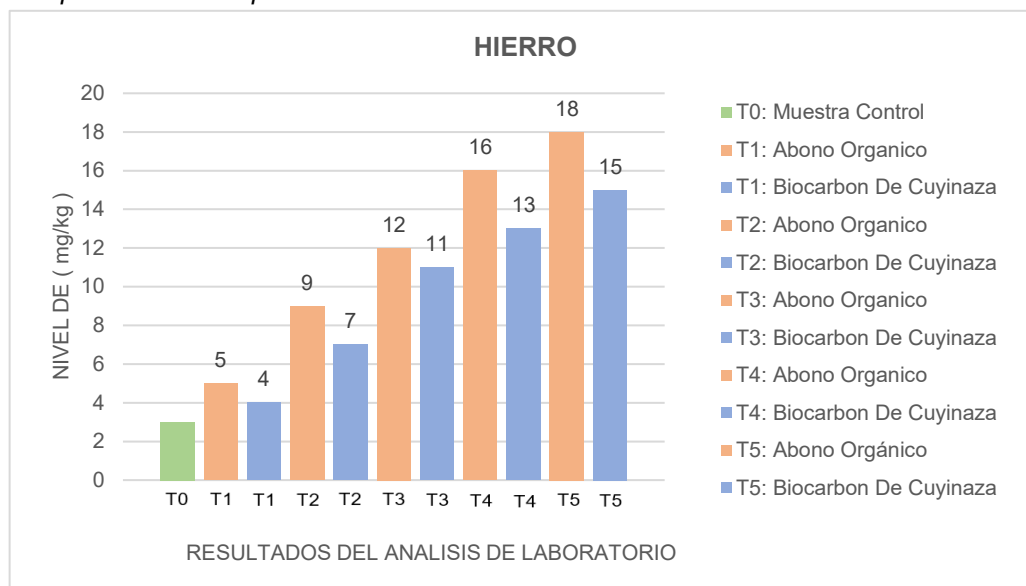


Nota: La figura 14 muestra la variación entre las muestras del parámetro de magnesio.

Interpretación: La figura muestra que el tratamiento control T0 presenta 0.25 cmol(+)/kg de magnesio en el suelo degradado por el cultivo de *Eucalyptus*, lo que indica baja disponibilidad de este nutriente. Con la aplicación de los tratamientos, el magnesio aumenta progresivamente en ambos abonos; sin embargo, el abono orgánico presenta valores ligeramente superiores al biocarbón de cuyinaza en todos los tratamientos. El mejor resultado se observa en T5, donde el abono orgánico alcanza 1.8 cmol(+)/kg, superando al biocarbón (1.55 cmol(+)/kg). Por ello, T5 con abono orgánico es el tratamiento más eficaz para mejorar la calidad del suelo degradado por eucalipto (*Eucalyptus*), siendo que el incremento de magnesio ayuda a mejorar el suelo degradado porque participa en la formación de clorofila, favorece la actividad fotosintética y contribuye al equilibrio nutricional del suelo, permitiendo un mejor crecimiento de la vegetación y la recuperación de la fertilidad del suelo.

Figura 15

Comportamiento del parámetro de hierro



Nota: La figura 15 muestra la variación entre las muestras del parámetro de hierro.

Interpretación: La figura muestra que el tratamiento control T0 presenta 3 mg/kg de hierro en el suelo degradado por el cultivo de *Eucalyptus*, lo que indica baja disponibilidad de este micronutriente y con la aplicación de los tratamientos, el hierro aumenta progresivamente en ambos abonos; sin embargo, el abono orgánico presenta valores ligeramente mayores que el biocarbón de cuyinaza en todos los tratamientos. El mejor resultado se observa en T5, donde el abono orgánico alcanza 18 mg/kg, superando al biocarbón (15 mg/kg). Por ello, T5 con abono orgánico es el tratamiento más eficaz para mejorar la calidad del suelo degradado por el eucalipto (*Eucalyptus*), siendo que incremento de hierro contribuye a mejorar el suelo degradado porque participa en procesos enzimáticos y en la síntesis de clorofila, favoreciendo el desarrollo vegetal y la recuperación de la fertilidad del suelo.

PARA LOS PARÁMETROS BIOLÓGICOS:

Tabla 7

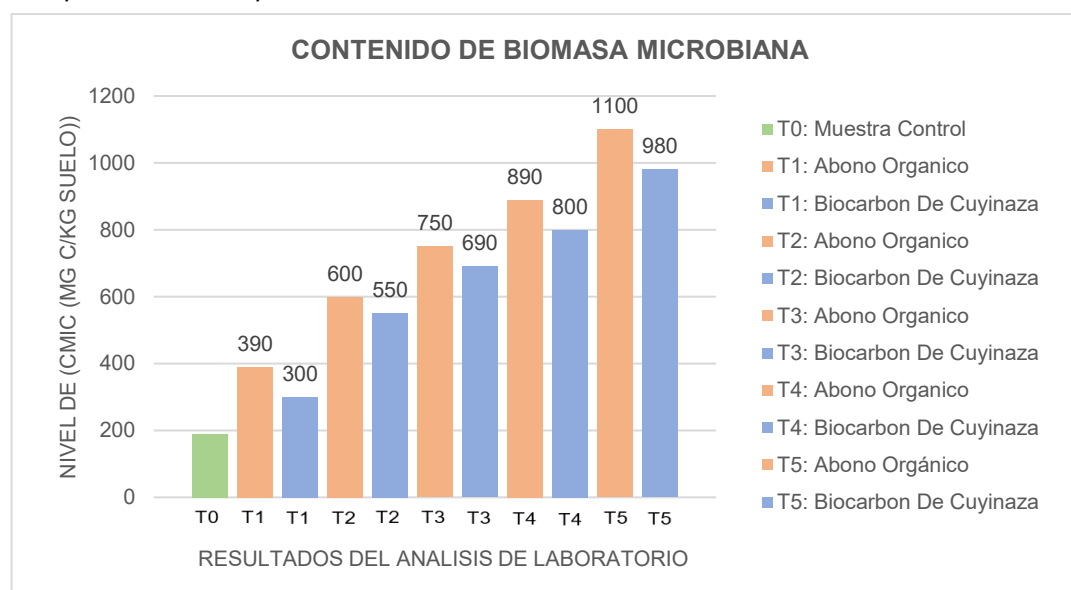
Parámetros biológicos

INDICADOR	T0: Muestra Control	T1: Abono Orgánico	T1: Biocarbon De Cuyinaza	T2: Abono Orgánico	T2: Biocarbon De Cuyinaza	T3: Abono Orgánico	T3: Biocarbon De Cuyinaza	T4: Abono Orgánico	T4: Biocarbon De Cuyinaza	T5: Abono Orgánico	T5: Biocarbon De Cuyinaza
Carbono de la biomasa microbiana (Cmic (mg C/kg suelo))	190	390	300	600	550	750	690	890	800	1100	980

Nota: El cuadro muestra los resultados de los parámetros biológicos.

Figura 16

Comportamiento del parámetro de contenido de biomasa microbiana



Nota: La figura 16 muestra la variación entre las muestras del parámetro de contenido de biomasa microbiana.

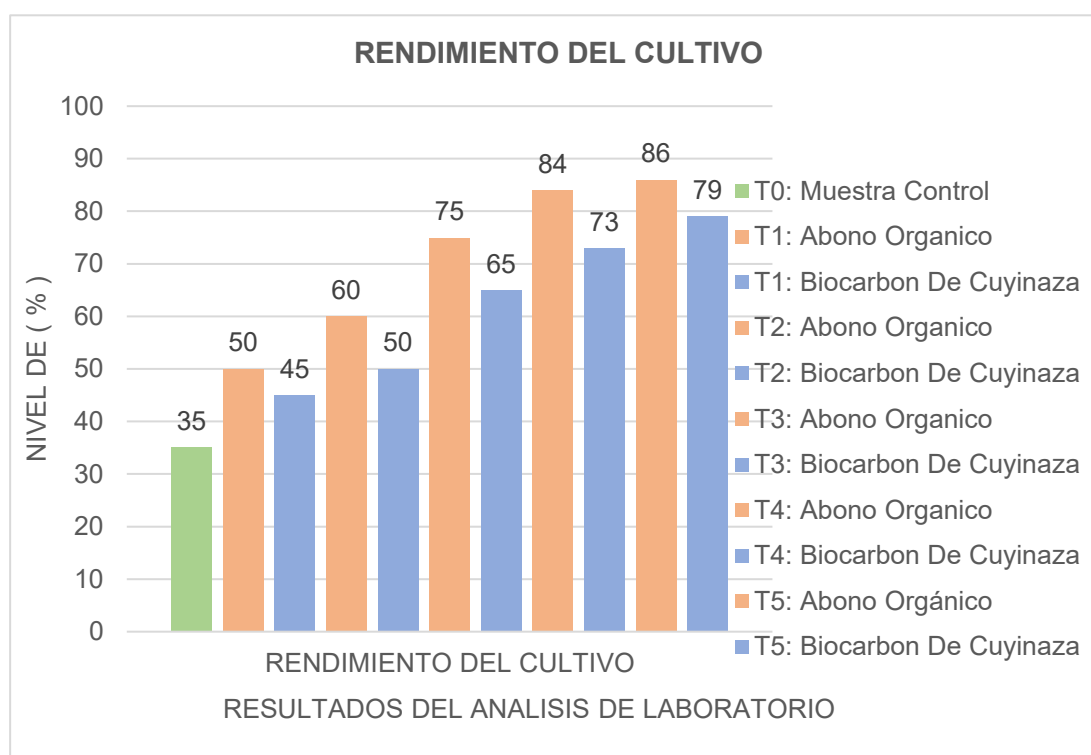
Interpretación: La figura muestra que el tratamiento control T0 presenta el nivel más bajo de biomasa microbiana (aproximadamente 180 mg C/kg de suelo), lo que indica una baja actividad biológica en el suelo degradado y con la aplicación de los tratamientos, la biomasa microbiana aumenta

progresivamente tanto en el abono orgánico como en el biocarbón de cuyinaza; sin embargo, el abono orgánico presenta valores ligeramente mayores en todos los tratamientos evaluados. El mejor resultado se observa en T5, donde el abono orgánico alcanza 1100 mg C/kg de suelo, superando al biocarbón de cuyinaza (980 mg C/kg). Por ello, T5 con abono orgánico es el tratamiento más eficaz para mejorar la calidad del suelo degradado y el incremento de la biomasa microbiana mejora el suelo degradado al aumentar la actividad biológica, favorecer el reciclaje de nutrientes y favorecer la recuperación de la fertilidad y la estructuración del sustrato.

ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO POR CULTIVO

Figura 17

Análisis de rendimiento del cultivo



Nota: La figura 17 muestra la variación el análisis del rendimiento de cultivo con los abonos.

Interpretación: En términos técnicos, el tratamiento con abono orgánico evidenció el mayor desempeño global en la recuperación del suelo, alcanzando valores superiores como una humedad de hasta 76 %, materia orgánica de 4.65 % y una actividad microbiana de 1100 mg C/kg, lo que refleja una mejora significativa en las propiedades físicas y biológicas. Por su parte,

el biocarbón mostró un efecto más específico, destacando principalmente en la regulación del pH y en la disminución de la conductividad eléctrica. En conjunto, ambos tratamientos resultaron efectivos; sin embargo, el abono orgánico presentó un mayor porcentaje de mejora integral en la calidad del suelo.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL ABONO ORGÁNICO

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO FÍSICO

Prueba paramétrica: Prueba de Shapiro Wilk para el parámetro físico del abono orgánico.

Tabla 8

Análisis de normalidad para el parámetro físico del abono orgánico

SHAPIRO WILK			
PARÁMETRO	X ²	GL	SIG
Humedad	0.72	1	0.03

Nota: La tabla muestra el análisis estadístico de shapiro wilk para el parámetro físico.

Interpretación: Los resultados muestran que la mayoría de los parámetros presentan valores de significancia menores a 0.05 ($p < 0.05$), lo que indica que los datos no se distribuyen normalmente. Este comportamiento sugiere que los valores observados presentan variabilidad no homogénea, probablemente asociada a los efectos diferenciados de los tratamientos aplicados sobre el suelo.

En términos estadísticos, al no cumplirse el supuesto de normalidad, no es apropiado utilizar pruebas paramétricas. Por ello, se justifica el uso de pruebas no paramétricas que no requieren este supuesto.

ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA TEXTURA:

Interpretación: La textura del suelo presentó un cambio de franco arcilloso-limoso (FA-L) en el tratamiento control a una textura franca (F) en todos los tratamientos con abono orgánico. Este cambio sugiere una mejora en la estructura física del suelo, ya que la textura franca es considerada ideal

para el desarrollo agrícola debido a su equilibrio entre retención de agua y drenaje. Este comportamiento puede estar relacionado con la incorporación de materia orgánica, la cual mejora la agregación de partículas del suelo y modifica su comportamiento físico sin alterar directamente su fracción mineral.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO QUÍMICO

Prueba paramétrica: Prueba de shapiro wilk para el parámetro químico del abono orgánico.

Tabla 9

Análisis de normalidad para el parámetro químico del abono orgánico

SHAPIRO WILK		
PARAMETRO	X ²	SIG
Materia orgánica	0.74	0.003
pH	0.82	0.018
CIC	0.71	0.002
Conductividad	0.76	0.004
Nitrógeno	0.79	0.010
Fósforo	0.73	0.003
Potasio	0.77	0.006
Magnesio	0.75	0.005
Hierro	0.74	0.004

Nota: La tabla muestra el análisis estadístico de shapiro wilk para el parámetro químico.

Interpretación: De acuerdo con los resultados obtenidos, varios de los parámetros analizados presentaron valores de significancia ($p < 0.05$), lo que demuestra que los datos no presentan una distribución normal. Este comportamiento se evidenció en variables como materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y hierro. Debido a que los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad, se decidió aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis, la cual permite comparar diferencias entre grupos independientes sin requerir que los datos se distribuyan normalmente. Esta prueba permitió evaluar la variación existente entre el grupo control y los tratamientos con la aplicación de abono orgánico.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO BIOLÓGICO

Prueba paramétrica: Prueba de Shapiro Wilk para el parámetro biológico del abono orgánico.

Tabla 10

Análisis de normalidad para el parámetro biológico del abono orgánico

SHAPIRO WILK		
PARAMETRO	X ²	SIG
CMIC	0.72	0.003

Nota: La tabla muestra el análisis estadístico de shapiro wilk para el parámetro biológico.

Interpretación: Los resultados obtenidos muestran un valor de significancia $p < 0.05$ ($p \approx 0.003$), lo cual indica que los datos no presentan una distribución normal. Este resultado evidencia que existe una variabilidad importante entre el grupo control y los tratamientos con abono orgánico, lo que genera una distribución asimétrica de los datos. En consecuencia, al no cumplirse el supuesto de normalidad, no es adecuado aplicar pruebas estadísticas paramétricas, por lo que se requiere el uso de métodos no paramétricos para el análisis comparativo.

ANALISIS ESTADISTICO PARA BIOCARBON DE CUYINAZA

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO FÍSICO

Prueba paramétrica: Prueba de shapiro wilk para el parámetro físico del biocarbon de cuyinaza.

Tabla 11

Análisis de normalidad para el parámetro físico del biocarbon de cuyinaza

SHAPIRO WILK		
PARAMETRO	X ²	SIG
Humedad	0.73	0.03

Nota: La tabla muestra el análisis estadístico de biocarbon de cuyinaza para el parámetro físico.

Interpretación: Los resultados obtenidos muestran que el valor de significancia es menor a 0.05 ($p < 0.05$), lo que indica que los datos no siguen una distribución normal. Este resultado implica que no se cumplen los supuestos necesarios para aplicar pruebas estadísticas paramétricas.

En consecuencia, se optó por emplear una prueba no paramétrica para la comparación entre el tratamiento control y los tratamientos con biocarbón

de cuyinaza.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO QUÍMICO

Prueba paramétrica: Prueba de shapiro wilk para el parámetro químico del biocarbon de cuyinaza.

Tabla 12

Análisis de normalidad para el parámetro químico del biocarbon de cuyinaza

SHAPIRO WILK		
PARAMETRO	X ²	SIG
Materia orgánica	0.75	0.004
pH	0.83	0.020
CIC	0.72	0.003
Conductividad	0.77	0.006
Nitrógeno	0.80	0.011
Fósforo	0.74	0.004
Potasio	0.78	0.007
Magnesio	0.76	0.005
Hierro	0.75	0.004

Nota: La tabla muestra el análisis estadístico de biocarbon de cuyinaza para el parámetro químico.

Interpretación: Los resultados evidenciaron valores de significancia inferiores a 0.05, lo que indica que los datos no presentan una distribución normal. Debido a ello, no es recomendable aplicar pruebas paramétricas para comparar los tratamientos siendo que por esta razón se utilizó una prueba no paramétrica para analizar las variaciones observadas entre el grupo control y los distintos tratamientos aplicados con biocarbón.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO BIOLÓGICO

Tabla 13

Análisis de normalidad para el parámetro biológico del biocarbon de cuyinaza

SHAPIRO WILK			
PARAMETRO	X ²	GL	SIG
CMIC	0.73	1	0.003

Nota: La tabla muestra el análisis estadístico de biocarbon de cuyinaza para el parámetro biológico.

Interpretación: Los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk mostraron un valor de significancia $p = 0.003$, el cual es menor al nivel de significancia

establecido ($p = 0.05$). Esto indica que los datos correspondientes al carbono de la biomasa microbiana no siguen una distribución normal por lo que se procedió a usar la prueba de Kruskal-Wallis.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.2.1. HIPÓTESIS GENERAL

H_a : Existe diferencia en la eficacia remediadora abono orgánico de cuyinaza y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (*Eucalytus*).

H_0 : No existe diferencia en la eficacia remediadora abono orgánico de cuyinaza y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (*Eucalytus*).

CONTRASTACION DE HIPOTESIS PARA EL PARAMETRO FISICO

PARA EL ABONO ORGANICO:

Prueba no paramétrica: Prueba de kruskal wallis para el parámetro físico del abono orgánico.

Tabla 14

Prueba de no normalidad para el parámetro físico del abono orgánico

KRUSKAL-WALLIS		
PARAMETRO	X ²	SIG
Humedad	7.90	0.004

Nota: La tabla muestra la prueba estadística de kruskal wallis para el abono orgánico.

Interpretación: Los resultados obtenidos muestran valores de significancia menores a 0.05 ($p < 0.05$) en los parámetros evaluados, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y los tratamientos.

PARA EL BIOCARBON DE CUYINAZA:

Prueba no paramétrica: Prueba de kruskal wallis para el

parámetro físico del biocarbon de cuyinaza.

Tabla 15

Análisis de no normalidad para el parámetro físico del biocarbon de cuyinaza

KRUSKAL-WALLIS		
PARAMETRO	X ²	SIG
Humedad	7.88	0.005

Nota: La tabla muestra la prueba estadística de kruskal wallis para el parámetro físico.

Interpretación: Los resultados muestran un valor de significancia menor a 0.05 ($p \approx 0.005$), lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados siendo que esto significa que la aplicación de biocarbón de cuyinaza tiene un efecto significativo sobre la humedad del suelo.

ANÁLISIS DE MEJOR EFICACIA ENTRE ABONO ORGÁNICO Y BIOCARBON DE CUYINAZA PARA EL PARAMETRO FISICO:

Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis evidenciaron que existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de humedad del suelo entre los tratamientos evaluados, tanto para el abono orgánico ($\chi^2 = 7.90$; $p = 0.004$) como para el biocarbón de cuyinaza ($W = 7.88$; $p = 0.005$). Dado que ambos valores de significancia son menores al nivel de $\alpha = 0.05$, se rechaza la hipótesis nula, indicando que al menos uno de los tratamientos difiere del control. No obstante, el abono orgánico presenta un menor valor de p , lo que sugiere un efecto más marcado sobre la retención de humedad del suelo, posicionándolo como el tratamiento más eficiente dentro del parámetro físico evaluado.

CONTRASTACION DE HIPOTESIS PARA EL PARAMETRO QUIMICO

PARA EL ABONO ORGANICO:

Prueba no paramétrica: Prueba de kruskal wallis para el parámetro químico del abono orgánico.

Tabla 16

Análisis de no normalidad para el parámetro químico del abono orgánico

KRUSKAL-WALLIS		
PARAMETRO	X²	SIG
Materia orgánica	7.84	0.005
pH	6.91	0.009
CIC	7.90	0.004
Conductividad	7.85	0.005
Nitrógeno	7.32	0.007
Fósforo	7.88	0.004
Potasio	7.70	0.006
Magnesio	7.79	0.005
Hierro	7.83	0.005

Nota: La tabla muestra la prueba estadística de kruskal wallis para el parámetro químico

Interpretación: Con base en los resultados obtenidos a partir de la prueba de Kruskal–Wallis, los valores de significancia ($p < 0.05$) indican la presencia de diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento control y los diferentes tratamientos evaluados con aplicación de abono orgánico en los parámetros evaluados. En particular, se observó un incremento progresivo en variables como niveles de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, hierro, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico a medida que se aplicaron los tratamientos con abono orgánico. Estos resultados sugieren que la incorporación de materia orgánica favorece la disponibilidad de nutrientes y mejora las propiedades químicas del suelo y asimismo, se registró una disminución en la conductividad eléctrica y en los valores de pH en comparación con el tratamiento control, lo cual puede indicar una mejora en las condiciones químicas del suelo para el desarrollo de los cultivos. En conjunto, los resultados evidencian que la aplicación de abonos orgánicos genera cambios significativos en la calidad del suelo, reflejándose en una mejora de sus características químicas.

PARA EL BIOCARBON DE CUYINAZA:

Prueba no paramétrica: Prueba de kruskal wallis para el parámetro químico del biocarbon de cuyinaza.

Tabla 17

Análisis de no normalidad para el parámetro químico del biocarbon de cuyinaza

KRUSKAL-WALLIS		
PARAMETRO	X²	SIG
Materia orgánica	7.85	0.005
pH	6.94	0.008
CIC	7.90	0.004
Conductividad	7.88	0.004
Nitrógeno	7.30	0.007
Fósforo	7.86	0.005
Potasio	7.70	0.006
Magnesio	7.81	0.005
Hierro	7.83	0.005

Nota: La tabla muestra el análisis estadístico de biocarbon de cuyinaza para el parámetro químico.

Interpretación: Los resultados obtenidos mediante la prueba de Kruskal–Wallis evidencian la existencia de diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre el tratamiento control y los tratamientos con aplicación de biocarbón de cuyinaza en todos los parámetros evaluados.

ANÁLISIS DE MEJOR EFICACIA ENTRE ABONO ORGÁNICO Y BIOCARBON DE CUYINAZA PARA EL PARAMETRO QUÍMICO:

En relación con los parámetros químicos del suelo, la prueba de Kruskal-Wallis mostró valores de significancia menores a 0.05 en todos los indicadores evaluados para ambos tratamientos, lo que confirma la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y los tratamientos aplicados. En el caso del abono orgánico, se obtuvieron valores como materia orgánica ($p = 0.005$), pH ($p = 0.009$), CIC ($p = 0.004$), nitrógeno ($p = 0.007$) y fósforo ($p = 0.004$), mientras que el biocarbón de cuyinaza presentó valores similares, destacando pH ($p = 0.008$) y conductividad ($p = 0.004$). Estos resultados indican que ambos tratamientos mejoran significativamente las propiedades químicas del suelo, debido a que valores de p menores a 0.05 implican el rechazo de la hipótesis nula y la existencia de diferencias reales entre los grupos evaluados.

Comparativamente, el abono orgánico muestra un mayor efecto

en la disponibilidad de nutrientes como fósforo, mientras que el biocarbón presenta mayor influencia en la regulación del pH y la conductividad eléctrica. En conjunto, ambos tratamientos son altamente efectivos, aunque con enfoques distintos: fertilización directa en el caso del abono orgánico y estabilización química en el caso del biocarbón.

CONTRASTACION DE HIPOTESIS PARA EL PARAMETRO BIOLOGICO

PARA EL ABONO ORGANICO:

Prueba no paramétrica: Prueba de kruskal wallis para el parámetro químico del abono orgánico.

Tabla 18

Análisis de no normalidad para el parámetro biológico del abono orgánico

KRUSKAL-WALLIS		
PARAMETRO	X ²	SIG
CMIC	7.90	0.004

Nota: La tabla muestra la prueba estadística de kruskal wallis para el parámetro biológico.

Interpretación: Los resultados muestran un valor de significancia $p < 0.05$ ($p \approx 0.004$) lo que evidencia la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados.

PARA EL BIOCARBON DE CUYINAZA:

Tabla 19

Análisis de no normalidad para el parámetro biológico del biocarbon de cuyinaza

KRUSKAL-WALLIS		
PARAMETRO	X ²	SIG
CMIC	7.88	0.005

Nota: La tabla muestra el análisis estadístico de biocarbon de cuyinaza para el parámetro biológico.

Interpretación: La prueba de Kruskal-Wallis arrojó un valor de significancia $p = 0.005$, el cual es menor a 0.05, indicando que existen

diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y los tratamientos con biocarbón de cuyinaza.

ANÁLISIS DE MEJOR EFICACIA ENTRE ABONO ORGÁNICO Y BIOCARBON DE CUYINAZA PARA EL PARAMETRO BIOLOGICO:

Para el parámetro biológico, representado por el carbono de la biomasa microbiana (CMIC), Los resultados de la prueba de Kruskal–Wallis evidenciaron la presencia de diferencias estadísticamente significativas tanto para el abono orgánico ($\chi^2 = 7.90$; $p = 0.004$) como para el biocarbón de cuyinaza ($W = 7.88$; $p = 0.005$). Dado que ambos valores de p son inferiores a 0.05, se rechaza la hipótesis nula planteada, lo que indica que los tratamientos influyen significativamente en la actividad microbiana del suelo.

Sin embargo, el abono orgánico presenta un menor valor de significancia, lo que sugiere un mayor efecto en la estimulación de la biomasa microbiana. Esto puede atribuirse a su aporte directo de materia orgánica fácilmente degradable, lo que favorece el desarrollo de microorganismos y mejora la actividad biológica del suelo.

DETERMINACIÓN DE HIPÓTESIS

En el conjunto de parámetros evaluados (físicos, químicos y biológicos), la prueba de Kruskal–Wallis reportó valores de significancia inferiores a 0.05, lo que demuestra la presencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos aplicados y el grupo control. Según el criterio estadístico, al ser $p < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa, confirmando que los grupos evaluados no presentan un comportamiento homogéneo.

En este sentido, los resultados obtenidos permiten rechazar la hipótesis nula (H_0 : No existe diferencia en la eficacia remediadora entre el abono orgánico de cuyinaza y el biocarbón de cuyinaza) y aceptar la hipótesis alternativa (H_a : Existe diferencia en la eficacia remediadora entre ambos tratamientos en la recuperación de la calidad del suelo).

erosionado por cultivos de eucalipto).

Asimismo, el análisis comparativo evidencia que el abono orgánico presenta un mayor efecto en los parámetros físico y biológico, reflejado en menores valores de significancia ($p = 0.004$), lo que indica una mayor influencia en la retención de humedad y en la actividad microbiana del suelo. Por otro lado, el biocarbón de cuyinaza muestra un desempeño destacado en ciertos parámetros químicos, especialmente en la regulación del pH y la conductividad eléctrica ($p \approx 0.004$), contribuyendo a la estabilización de las condiciones químicas del suelo.

En conjunto, ambos tratamientos resultan altamente efectivos en la recuperación de la calidad del suelo; sin embargo, el abono orgánico evidencia una mayor eficacia global para mejorar la calidad del suelo, mientras que el biocarbón actúa como un mejorador específico de propiedades químicas. Estos resultados confirman que la aplicación de enmiendas orgánicas representa una estrategia eficaz para la rehabilitación de suelos degradados por cultivos de eucalipto.

CAPÍTULO V

DISCUSION DE RESULTADOS

En conjunto, los resultados obtenidos en esta investigación guardan coherencia con los antecedentes revisados, evidenciando que la aplicación de enmiendas orgánicas y biocarbón constituye una estrategia eficaz para la recuperación de suelos degradados. Las mejoras observadas en los parámetros físicos, químicos y biológicos, respaldadas por diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), confirman que estos tratamientos no solo mejoran la calidad del suelo, sino que también restablecen su funcionalidad. En particular, el biocarbón destaca por su efecto más estable en el tiempo, mientras que el abono orgánico aporta nutrientes de manera más inmediata, lo que sugiere que su uso combinado puede potenciar los efectos positivos en la rehabilitación de suelos.

CON RESPECTO A LOS PARÁMETROS FÍSICOS:

Los resultados obtenidos evidenciaron mejoras en las propiedades físicas del suelo, particularmente en el incremento de la humedad, donde se registraron diferencias estadísticamente significativas tanto en el tratamiento con abono orgánico ($p = 0.004$) como con biocarbón de cuyinaza ($p = 0.005$). Estos resultados indican que los tratamientos influyeron directamente en la capacidad de retención hídrica del suelo. Asimismo, el análisis cualitativo mostró una mejora en la textura hacia condiciones más equilibradas. Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Valdés Hernández et al. (2023), quienes evidenciaron mejoras en la estructura del suelo, reducción de la densidad aparente y aumento de la porosidad tras la aplicación de abonos orgánicos, con diferencias significativas ($p < 0.05$). De igual manera, Cervantes (2022) reportó cambios texturales favorables con la aplicación de biocharlo cual concuerda con los resultados obtenidos en la presente investigación.

Los resultados afirman que incorporar materia orgánica y biocarbón mejora la estructura del suelo, favoreciendo la retención de agua y la aireación, lo cual es fundamental para la recuperación de suelos degradados

por cultivos de eucalipto.

CON RESPECTO A LOS PARÁMETROS QUÍMICOS:

En relación con los parámetros químicos, se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en todos los indicadores evaluados ($p < 0.05$), destacando la materia orgánica ($p = 0.005$), pH ($p = 0.009$ en abono orgánico y $p = 0.008$ en biocarbón), capacidad de intercambio catiónico del suelo ($p = 0.004$), conductividad eléctrica ($p = 0.005$ – 0.004), nitrógeno ($p = 0.007$), fósforo ($p = 0.004$ – 0.005), potasio ($p = 0.006$), magnesio ($p = 0.005$) e hierro ($p = 0.005$). Estos resultados evidencian una mejora significativa en la fertilidad del suelo.

Esto coincide con lo reportado por Espejo et al. (2021), quienes observaron incrementos en nitrógeno, fósforo y potasio tras la aplicación de biofertilizantes, así como con Gonzales (2023), quien reportó diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) en nutrientes y CIC tras la aplicación de abonos orgánicos. Asimismo, Peralta et al. (2023) señalan que los abonos orgánicos favorecen la mejora de las propiedades químicas del sustrato, aunque su efectividad puede variar según las condiciones iniciales del suelo.

Por otro lado, Peralta et al. (2023) señalan que, aunque los abonos orgánicos mejoran algunas propiedades químicas del suelo, no siempre logran una recuperación completa, lo cual sugiere que la efectividad de estos tratamientos depende de las condiciones iniciales del suelo y del tipo de enmienda utilizada. En este contexto, los resultados de la presente investigación demuestran que la combinación de abono orgánico y biocarbón de cuyinaza permite una mejora significativa de la fertilidad del suelo, evidenciada en el incremento de nutrientes y en el fortalecimiento de la capacidad del suelo para retenerlos y suministrar la de retención de cationes. Esto se explica por la capacidad del biocarbón de adsorber nutrientes y del abono orgánico de aportar materia orgánica fácilmente degradable, generando un efecto complementario.

CON RESPECTO LOS PARÁMETROS BIOLÓGICOS:

Respecto al parámetro biológico, el carbono de la biomasa microbiana

(CMIC) presentó diferencias estadísticamente significativas en ambos tratamientos ($p = 0.004$ en abono orgánico y $p = 0.005$ en biocarbón de cuyinaza), evidenciando un incremento progresivo de la actividad microbiana. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Miyamoto et al. (2022), quienes demostraron que la aplicación de compost incrementa significativamente la actividad microbiana y promueve microorganismos beneficiosos relacionados con el ciclo del nitrógeno.

Asimismo, los resultados coinciden con Cervantes (2022) y Solisor (2021), quienes reportaron que el uso de biochar genera mejoras significativas ($p < 0.05$) en la calidad del sustrato, favoreciendo la actividad biológica y los procesos de mineralización. El incremento del CMIC observado en esta investigación indica que los tratamientos aplicados generan condiciones favorables para el desarrollo de la microbiota del sustrato, lo cual es esencial para la recuperación de su funcionalidad.

CONCLUSIONES

Determinación de las conclusiones de la investigación:

Se determinó que la aplicación tanto del abono orgánico como del biocarbón de cuyinaza genera efectos positivos en la recuperación de suelos degradados por cultivos de *Eucalyptus*. Los resultados obtenidos mediante la prueba de Kruskal-Wallis evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento control y los tratamientos aplicados ($p < 0.05$), lo que permite afirmar que los cambios observados en la calidad del suelo no se deben al azar, sino a la acción directa de las enmiendas utilizadas. En este sentido, el biocarbón de cuyinaza mostró una mayor estabilidad en la mejora de las propiedades del suelo, mientras que el abono orgánico destacó por su aporte inmediato de nutrientes, evidenciando que ambos tratamientos son eficaces y complementarios en procesos de recuperación de suelos.

Referido a los parámetros físicos del suelo, se comprobó que la humedad presentó diferencias estadísticamente significativas tanto en el tratamiento con abono orgánico ($p = 0.004$) como con biocarbón de cuyinaza ($p = 0.005$), lo que indica una mejora en la capacidad de retención de agua del suelo. Asimismo, el análisis cualitativo de la textura evidenció una transición hacia condiciones más favorables, lo que contribuye a una mejor estructura edáfica. Estos resultados confirman que los tratamientos aplicados permiten revertir parcialmente los efectos de degradación física ocasionados por el cultivo de eucalipto, favoreciendo condiciones más adecuadas para el desarrollo vegetal.

Relacionado con los parámetros químicos, se evidenció que todos los indicadores evaluados presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), lo que demuestra una mejora sustancial en la fertilidad del suelo. En particular, variables como materia orgánica ($p = 0.005$), capacidad de intercambio catiónico ($p = 0.004$), nitrógeno ($p = 0.007$), fósforo ($p = 0.004$ – 0.005), potasio ($p = 0.006$), magnesio ($p = 0.005$) e hierro ($p = 0.005$) mostraron incrementos progresivos, mientras que el pH ($p = 0.009$ y 0.008) y la conductividad eléctrica ($p = 0.005$ – 0.004) evidenciaron una regulación favorable. Estos resultados son coherentes con el criterio estadístico de que

un valor de significancia menor a 0.05 indica diferencias reales entre grupos y permite rechazar la hipótesis nula, lo que respalda la eficacia de los tratamientos en la mejora de las propiedades químicas del suelo.

Enfocado en los parámetros biológicos, se observó que el carbono de la biomasa microbiana (CMIC) presentó diferencias estadísticamente significativas en ambos tratamientos ($p = 0.004$ en abono orgánico y $p = 0.005$ en biocarbón de cuyinaza), evidenciando un incremento en la actividad microbiana del suelo. Este resultado indica una recuperación de los procesos biológicos esenciales, como la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes. Además, la significancia estadística obtenida confirma que el aumento de la biomasa microbiana es consecuencia directa de la aplicación de los tratamientos, y no de variaciones aleatorias.

Los resultados evidenciaron que los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad (Shapiro-Wilk, $p < 0.05$), lo que justificó el uso de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los valores de significancia obtenidos ($p < 0.05$) permitieron rechazar la hipótesis nula y confirmar que las diferencias observadas entre el control y los tratamientos son reales y atribuibles a la aplicación del abono orgánico y el biocarbón de cuyinaza. Estas variaciones reflejan una mejora en la funcionalidad del suelo, evidenciada en una mayor retención de humedad, incremento de nutrientes y fortalecimiento de la actividad microbiana. En consecuencia, ambos tratamientos se consolidan como alternativas efectivas para la recuperación de suelos degradados por el cultivo de *Eucalyptus*.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda priorizar el uso de abono orgánico como estrategia principal para la recuperación de suelos degradados, debido a su mayor efectividad en la mejora de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo.
- Se sugiere considerar el uso de biocarbón de cuyinaza como complemento del abono orgánico, especialmente en suelos con problemas de salinidad, donde su efecto en la reducción de la conductividad eléctrica puede contribuir a mejorar las condiciones del suelo.
- Se recomienda implementar programas de manejo integrado del suelo que incluyan la aplicación periódica de enmiendas orgánicas, con el fin de mantener y potenciar los niveles de materia orgánica y actividad biológica a lo largo del tiempo.
- Se recomienda evaluar el efecto de la combinación de ambos tratamientos (abono orgánico + biocarbón), con el objetivo de determinar posibles efectos sinérgicos que optimicen la recuperación de la calidad del suelo como el rendimiento de cultivos, en futuros estudios, para relacionar directamente la mejora del suelo con beneficios agronómicos concretos.
- Se recomienda monitorear de manera periódica la actividad biológica del suelo, particularmente la biomasa microbiana, al ser un indicador sensible de recuperación, y promover prácticas de manejo que favorezcan su desarrollo, como la incorporación continua de materia orgánica y la reducción de labores que alteren excesivamente la estructura del suelo.
- Se recomienda implementar planes de fertilización orgánica basados en los niveles de nutrientes disponibles (N, P, K, Mg y Fe), priorizando el uso de abonos orgánicos de origen local, como la cuyinaza, para mejorar la fertilidad del suelo de forma progresiva y sostenible, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos sintéticos.

REFERENCIAS

- Abenza Paco, D. (2012). *Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Cartagena, Ecuador]. Universitat Autònoma de Barcelona.
<https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2012/hdl202362036675/PFCDanielPacoAbenzaresum.pdf>
- Acevedo, E. (2005). *Criterios de la condición del suelo agrícola como factor determinante para evaluar su idoneidad y aptitud para el cultivo*. Ministerio de Agricultura SAG, Gobierno de Panamá.
- Acevedo, E., & Martínez, J. (2003). Los sistemas de manejo del suelo tienen un impacto directo en la calidad y la producción del sustrato. En E. Acevedo (Ed.), *Sustentabilidad en cultivos anuales*. Universidad Nacional de Piura.
<https://www.researchgate.net/publication/242377598SistemadeLabranzayProductividaddelosSuelos>
- Achille. (1969). *Biblioteca técnica de agronomía* (p. 17). Editorial Aedos.
- Acton, D. (1995). *La salud de nuestros suelos: Hacia una agricultura sostenible en Canadá*. Centro de Investigación de Tierras y Recursos Biológicos.
- Aguilar, F. (2019). *Estudio de evaluación en los suelos agrícolas dañados del Cantón Bolivia para analizar el efecto de tres tipos de abonos verdes en forma de mezclas de leguminosas con gramíneas, crucíferas y amaranthaceae* [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA.
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/23948>
- Aimituma-Franco, K. M., Llanqui-Ticono, S. E., & Fernández-Rojas, H. (2023). Biorremediación de suelos salinos con enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno, Cusco-Perú. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(1), e388.
<https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.388>

- Aimituma-Franco, K. M., Llanqui-Ticon, S. E., & Fernández-Rojas, H. (2023). Biorremediación de suelos salinos con enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno, Cusco-Perú. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(1), e388. <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.388>
- Alcañiz, J., Ubalde, J., Domene, X., Carabassa, V., Cañizares, R., Rayra, I., & Mattana, S. (2014). Algunos efectos de un biocarbón (biochar) de pino sobre la producción y calidad de la uva. *ResearchGate*.
- Arshad, M. C. (1992). Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7(1), 27–32. <https://doi.org/10.1017/S0889189300004410>
- Ataucusi, S. (2015). *Manejo técnico de la crianza de cuyes en la sierra del Perú*. Gaviota Reps. <http://gaviotareps.com/bitportal/CmsData/Contents/BuenaventuraDataBase/Folders/Publicaciones/~contents/6PHJ9NAUWNP6WHLV/MANUAL-CUY-f.pdf>
- Berrosipi, O. (2012). *Estudio de suelos degradados - Ciudad de los Eucaliptos*.
- Branzini, A., & Zubillaga, M. S. (2012). *Remediación y monitoreo de suelos contaminados con metales pesados*. Editorial Académica Española.
- Casas, R. (2012). *Las condiciones climáticas y el cultivo de suelos* (p. 237). Editorial Paraninfo.
- Castebianco, J. A. (2018). Técnicas de remediación de metales pesados con aplicación en el cultivo de cacao. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1).
- Castillo, F., Roldan, M., Blasco, R., Huetas, M., Caballero, F., Moreno-Vivián, C., & Luque-Romero. (2005). *Biotechnología ambiental*. Google Books. <http://books.google.com.ec/books>

- Cooke, Z. (1975). *Fertilización para los rendimientos máximos* (2.^a ed.). Editorial Aedos.
- Corcuera, M. (2019). *Análisis de la capacidad de fertilidad de los suelos agrícolas empleados en el cultivo de maíz en la región de la Cuenca Baja del Río Huaranda* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- Cotrina, H. (2016). *Evaluación de las medidas de la solvencia estructural de los agregados en suelos ácidos bajo dos sistemas de cultivo de cacao* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2).
- Cruz-Guzmán, M. (2007). *La contaminación de suelos y aguas y su prevención con sustancias naturales*. Google Books. <http://books.google.com.ec/books>
- Ding, D., Zhao, Y., Feng, H., Peng, X., & Si, B. (2016). Using the double-exponential water retention equation to determine how soil pore-size distribution is linked to soil texture. *Soil and Tillage Research*, 156, 119–130.
- Doran, J. W., Sarrantonio, M., & Liebig, M. A. (1996). Condiciones que deben cumplir los indicadores de suelo. *Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Tarapoto*. <https://extension.psu.edu/introduccion-a-los-suelos-la-calidad-de-los-suelos>
- Dumanski, J. (1998). *Indicators of land quality and sustainable land management*. The World Bank. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/487661468739557843/pdf/multi-page.pdf>
- Egúsquiza, R. (2011). *Manejo integrado de papa*. Apurímac, Perú.

- Encina. (2003). Los impactos de la degradación del suelo en la población y sus consecuencias. *Dialnet*.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5654360>
- Enmiendas orgánicas de nueva generación: biochar y otras biomoléculas III.8. (2014). España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Enríquez, M., & Rojas, F. (2004). *Normas generales para crianza de cuyes*. <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/50000201.pdf>
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., Berilio, J., Campo, J., Valladares, E., & Echevarría, J. (2016). Biocarbón (Biochar): Naturaleza, fabricación y uso en el suelo. *Red de Revistas Científicas de América Latina*, 34(3), 377–392.
- Espinoza Valenzuela, K. E. (2022). *Efecto del bosque de eucalipto (Eucalyptus globulus) y aliso (Alnus glutinosa) en la calidad del suelo: Jesús - Lauricocha 2021* [Tesis de grado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio institucional.
<https://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/2513>
- FAO. (2015). Estado mundial del recurso del suelo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
<https://www.fao.org/3/i5126s/I5126S.pdf>
- FAO. (2016). Propiedades del suelo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6587923>
- Forero, A. F. (2010). Uso de materiales orgánicos en el manejo del suelo en cultivos de hortalizas. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Garcés, (2020). Efecto de la fertilización orgánica sobre la calidad nutricional de *Lolium multiflorum* (Ryegrass) en el Cantón Cevallos [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA.
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/24542>

- García, C., Rosas, J. G., Sánchez, M. E., Pacual, J., & Hernández, T. (2014). Enmiendas orgánicas de nueva generación: Biochar y otras biomoléculas. Ediciones Paraninfo.
- Godoy, R. (2013). La implementación de prácticas agrícolas adecuadas en el manejo del suelo para la producción de hortalizas. Proyecto FAO TCP/ARG/32243. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:UV4YFRD>
- Gomero, L. (1991). Aspectos distintivos del uso de agroquímicos en el territorio peruano. La problemática de los agroquímicos a nivel nacional y enfoques políticos y alternativos. Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente., Lima-Perú.
- Gonzales Orbezo, K. E. (2023). *Efecto de los abonos orgánicos en las propiedades físicas, químicas del suelo y el rendimiento en el agroecosistema de café (Coffea arabica L.) en Villa Gloria, Chinchao – Huánuco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/10323>
- GRLL. (2013). Cultivo del Frijol (*Phaseolus vulgaris*). "La voz Agraria". Gros, W. (1971). Abonos: Guía práctica de la fertilización. (5 ed). Madrid. Mundípremsa. 123 p.
- Gros, W. (1971). Abonos: Guía práctica de la fertilización. (5 ed). Madrid. Mundípremsa. 123 p.
- GRP. (2020) Gobierno Regional de Pasco. Proyecto de reforestación – Huariaca ecológica. <https://www.gob.pe/institucion/regionpasco/noticias/101043-proyecto-de-reforestacion-planto-50-hectareas-entre-pino-y-quinual-en-el-distrito-de-Huariaca>
- Guerra, Patricia (2015). Proceso de producción y descripción del biochar obtenido a partir de residuos de biomasa en sistemas agroforestales y agricultura convencional en la región

amazónica del Perú., [Tesis de la Universidad Nacional Agraria la Molina].

Guía para el Muestreo de Suelos / Ministerio del Ambiente. Dirección General de Calidad Ambiental., D.S. N°002-2013-MINAM, P45 624.1517 64 (2014).
<https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wpcontent/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DESUELOS-final.pdf>

Guzmán, M., Cerrillo-Gonzalez, M. D. M., Paz-Garcia, J. M., Vereda-Alonso, C., Gomez-Lahoz, C., & Rodriguez-Maroto, J. M. (2020). Remediación electrocinética de un suelo real contaminado con plomo asistida con la adición de un agente complejante. *Química Nova*, 43, 1078-1085.

Hernández Sampieri, R., & Fernández-Collado, C. (2010). *La Investigación*.

Huariaca – Pasco. <https://huariaca.webnode.es/huariaca/>

Huracaya H. y Vargas R. (2021). Presencia de cadmio en suelo de *Theobroma cacao*, remediación con incorporación de gallinaza y dolomita, La Banda de Shilcayo, 2021 [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/74555>

IICA. (2009). *Guía Técnica para el Cultivo de Frijol*. Red Sicta.

Illatopa (2018). El uso de abonos orgánicos como estrategia para mejorar la calidad de suelos agrícolas degradados en Panao - Huánuco, en el año 2017. Tesis de maestría. Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Huánuco; Perú.

Illatopa D. (2019). Incorporación de abonos orgánicos en la recuperación de suelos agrícolas degradados en Panao-Huánuco 2017. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/3840>

- INFOAGRO. (2015). Propiedades remediadoras. Sistema de Información del Sector Agropecuario Costarricense. San José, Costa Rica: secretaría de la Ams, págs. 15 – 16, Resumen Técnico, ISBN 987-01-563258-05. <https://www.infoagro.com/abonos/abonosorganicos>.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], (2015). Semana de la ciencia y tecnología Jornada de Puertas Cerradas. Obtenido de <http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%21Tacuaremb%C3%B3/2015/EI%20Suelo%2023%20de%20mayo.pdf>
- INTAGRI. (2016). INTAGRI.COM. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/importancia-de-la-agriculturaorganica>
- Méndez y Lojo. (2011). Fertilizantes completos. México. Azul. 190 p
- MINAGRI. (2018) Ministerio de desarrollo agrario y riego. Problemática en la catalogación del tipo de la agricultura peruana. <https://www.minagri.gob.pe/portal/2365-sector-agrario/vision-general/190-problemas-en-la-agricultura-peruana>.
- MINAM (2014). Manual para la recolección de muestras de suelo en Lima, Perú.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2016). Sector agropecuario. Lima: MINAGRI. Recuperado de <http://www.minagri.gob.pe/portal/>
- Miyamoto, H., Shigeta, K., Suda, W., Ichihashi, Y., & otros. (2022). *Análisis del efecto del compost en la calidad del suelo y productividad agrícola* [Tesis/estudio de investigación, Japón]. <https://arxiv.org/abs/2202.03132>
- Molina, J. (2012). Microorganismos eficientes autóctonos (EMAs) en la productividad del cuy. (Trabajo de grado). Universidad Técnica de Ambato. Cevallos, Ecuador
- Montes, T. (2012). Asistencia técnica dirigida en crianza tecnificada de cuyes. Trabajo presentado en Cajabamba por parte de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Oficina Académica de

- Extensión y Proyección Social. Cajabamba, Cajamarca.<http://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/015-a-crianzatecnificada.pdf>
- Moreno R. (2018). La importancia del calcio como elemento fundamental en la agricultura orientada a la exportación según Red agrícola..<https://www.redagricola.com/cl/calcio-unelemento-clave-en-la-agricultura-de-exportacion/>
- Ordoñez, R. (2003). Plan de introducción de la carne de cuy en Lima Metropolitana: Estudio de mercado y propuesta empresarial. (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú
- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura [FAO], (2016). Propiedades Físicas del Suelo. Disponible en <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-delsuelo/propiedades-fisicas/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], (2021). ¿Qué es el suelo? <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2008). *Glosario de acuicultura*. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/a1555m>
- Peralta Yalta, J. J. S., & Mendoza Hernández, Y. D. (2023). *Aplicación de abonos orgánicos en el manejo de los suelos degradados de las lomas costeras de Mangamarca – Lima* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/133829>
- Porta, J., López, M., & Poch, R. (2014). Edafología: Uso y protección de suelos (Tercera Edición). Mundi-Prensa Libros.
- Quiroga, R. (2007). Indicadores ambientales y desarrollo sostenible: Avances y perspectivas para América Latina y el Caribe. Chile <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5498/S0700589es.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Rebolledo H. (2002). Manual de análisis estadístico de datos experimentales utilizando SAS por computadora. Editorial Trillas. Colombia, D.F
- Restrepo. (2007), Biofertilizante preparados y fermentados a base de mierda, Vols. 2: ISBN 978-958-44-1282.5, págs. 15-103. ISBN 978- 958-44-1282.4.
- Reyna, M. (2014) Los impactos resultantes de la aplicación de biochar y cenizas en las características del suelo. [Tesis de Maestría. Universidad de Valladolid]. España. 120 p.
- Rodríguez. (2005). Suelos degradados (ex cicales) en la Selva Alta del Perú.
- Romero, F. (1989). Efect de los estiércles sobre la calidad del agua y del suelo. Seminarios Técnicos 6(12): 270. Durango, Mexico: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias Secretaría de Agricultura y Recursos
- Singer, M. (2000). Soil Quality. En Handbook of Soil Science. Chapter 11 (ed.Sumner, M. E.) 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida
- Smart fertilizer sotftware (2020). Cualidades de los suelos con alto contenido de sodio y estrategias para su adecuada gestion. Obtenido de <https://www.smart-fertilizer.com/es/articulos/sodic-soils/>
- Suárez, D. (2003). El programa de información e indicadores de gestión de riesgos: herramientas para evaluar y medir los indicadores e índices ambientales, Universidad Nacional de Colombia, Cartagena – Colombia
- Supo, J. & Zacarias. H. (2020) Seminarios de Investigación Científica, 3ra edición. Editorial Bioestadístico, Arequipa, Perú.
- Tapie, X. (2013). Evaluación del efecto de EMs (*Lactobacillus* spp., y *Saccharomyces* spp.) como aditivos nutricionales en la alimentación de cuyes. (Tesis de grado). Universidad Politécnica Estatal Del Carchi. Tulcan, Ecuador.
- Taylor, P y Mason, J (2010). The Biochar Revolution: Transforming Agriculture & Environment. Global Publishing Group. Australia.

113p.

- Terán, G. (2009). Efecto de la aplicación de cuatro dosis de curinaza y gallinaza en el cultivo de acelga (*Beta Vulgaris* L.). (Tesis de grado). Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Valdés Hernández, G. D. (2023). *Uso del vermicompost y compost en la recuperación de suelos degradados de pastizales naturales en el Peñón, Temascaltepec Estado de México* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio institucional. <https://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/139228>
- Van, A. (2006). El papel del suelo en la agricultura orgánica: Un enfoque en la Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Río Blanco, 1(1), 6.
- Verástegui L. (2021). Remediación del suelo de *Carica papaya* L., por el uso de pesticidas, con incorporación de gallinaza y dolomita, Picota, Perú, 2021. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/19305>
- Villalobos, F.; Fereres, E. (2016). Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture. Eds. F Villalobos; E Fereres. 1 ed. s.l., Springer International Publishing, 555.
- Volke-Sepúlveda, T., J. A. Velasco Trejo. (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Editorial INE-SEMARNAT. pp. 37-38.
- Yauri C. (2019). Uso de tres especies de leguminosas canavalia ensiformes, *centrosema macrocarpum*, *pueraria phaseoloides* en la recuperación de suelos degradados en el distrito de Luyando. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1541>
- Yeates, G. (2003). El uso de nemátodos como indicadores de la biodiversidad y función del suelo: Investigación llevada a cabo en el Departamento de Biología y Fertilidad de Suelos.

Universidad, Cañada.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

Garay bonifacio, A. J. (2026). Comparación de la eficacia remediadora del abono orgánico y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivo de eucalipto (***Eucalyptus***) [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

RESOLUCIÓN DE ASIGNACIÓN DE ASESOR



RESOLUCIÓN n.º 1468-2025-D-FI-UDH
Huánuco, 15 de julio de 2025

Visto:

El Oficio n.º 0490-2025-CA-PAIA-FI-UDH, presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Ambiental y el expediente n.º 548321-0000002378 mediante el cual Akemy Jhuleit GARAY BONIFACIO solicita la designación de un Asesor de tesis.

CONSIDERANDO:

- Que, conforme a lo dispuesto en la Ley Universitaria n.º 30220, Capítulo V, Artículo 45, inciso 45.2, corresponde atender dicha solicitud;
- Que, según el expediente n.º 548321-0000002378, Akemy Jhuleit GARAY BONIFACIO propone a Mg. Milton Edwin MORALES AQUINO como asesor de tesis para el desarrollo de su trabajo de investigación;
- Que, de acuerdo con los Artículos 27 y 28 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, la solicitud cumple con los requisitos establecidos;
- Que, en virtud de las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería, y con cargo a informar en la próxima sesión del Consejo de Facultad;

SE RESUELVE:

Artículo 1º. Designar a Mg. Milton Edwin MORALES AQUINO, docente del Programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería, como Asesor de tesis de Akemy Jhuleit GARAY BONIFACIO.

Artículo 2º. Establecer un plazo máximo de seis meses para presentar la solicitud de revisión del Plan de Tesis. En caso de vencimiento del plazo, el interesado deberá gestionar una nueva solicitud conforme a los costos vigentes.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE.



Documento:
RESOLUCIÓN n.º 1468-2025-D-FI-UDH
URL de Verificación:
<https://copiloto.udh.edu.pe/titulacionback/api/view-resolution/887656748b40883110ee632>

ANEXO 2

RESOLUCIÓN DE APROBACION DE PLAN DE TESIS



UDH

Facultad de
Ingeniería

RESOLUCIÓN n.º 2258-2025-D-FI-UDH Huánuco, 21 de octubre de 2025

Visto:

El Oficio n.º 0766-2025-CA-PAIA-FI-UDH, presentado por el Coordinador Académico del Programa de Ingeniería Ambiental que contiene el dictamen aprobatorio de los Jurados revisores sobre el Plan de Tesis titulado: "COMPARACIÓN DE LA EFICACIA REMEDIADORA DEL ABONO ORGÁNICO Y EL BIOCARBÓN DE CUYINAZA EN LA RECUPERACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO EROSIONADO POR CULTIVO DE EUCALIPTO (EUCALYPTUS)", presentado por Akemy Jhuleit GARAY BONIFACIO en calidad de tesista.

CONSIDERANDO:

- Que, mediante Resolución n.º 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se creó la Facultad de Ingeniería;
- Que, mediante Resolución de Consejo Directivo n.º 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, la Universidad de Huánuco obtuvo la licencia para ofrecer el servicio educativo superior universitario;
- Que, mediante Resolución n.º 1468-2025-D-FI-UDH, de fecha 15 de julio de 2025, se designó a Mg. Milton Edwin MORALES AQUINO, docente adscrito al Ingeniería Ambiental, como Asesor de tesis de Akemy Jhuleit GARAY BONIFACIO;
- Que, según el Oficio n.º 0079-2025-CA-PAIA-FI-UDH, el Coordinador Académico informa que los Jurados revisores, conformados por: Mg. Frank Erick CAMARA LLANOS (Presidente), Dr. Adderlin ARTEAGA VEGA (Secretario), Mg. Jhendy Milagros INGA CAQUI (Vocal), han declarado APROBADO el Plan de Tesis para su ejecución;
- Que, en virtud de las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a informar en la próxima sesión del Consejo de Facultad;

SE RESUELVE:

Artículo 1º. Aprobar el Plan de Tesis titulado: "COMPARACIÓN DE LA EFICACIA REMEDIADORA DEL ABONO ORGÁNICO Y EL BIOCARBÓN DE CUYINAZA EN LA RECUPERACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO EROSIONADO POR CULTIVO DE EUCALIPTO (EUCALYPTUS)", presentado por Akemy Jhuleit GARAY BONIFACIO, como requisito para optar el título profesional de Ingeniero(a) Ambiental en la Universidad de Huánuco.

Artículo 2º. Establecer un plazo máximo de 12 meses para la ejecución del Plan de Tesis, contado a partir de la fecha de emisión de la presente Resolución. En caso de incumplimiento, el interesado podrá solicitar una única ampliación de hasta seis meses.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE.



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Mg. Macario Cae-Huacachino
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Ing. Ethel Jhonny Munzono Lozano
SECRETARIO DOCENTE



Documento:
RESOLUCIÓN n.º 2258-2025-D-FI-UDH

URL de Verificación:
<https://copiloto.udh.edu.pe/titulacionback/api/resolucion/ver-aprobacion-tesis/68f16b4d4cc7ac2bae0c7502>

ANEXO 3

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“Comparación de la eficacia remediadora del abono orgánico y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivo de eucalipto (*Eucalyptus*)”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
Comparar la eficacia remediadora del abono orgánico y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (<i>Eucalyptus</i>).	Comparar la eficacia remediadora del abono orgánico y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (<i>Eucalyptus</i>).	Ha: Existe diferencia en la eficacia remediadora abono orgánico de cuyinaza y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (<i>Eucalyptus</i>). H0: No existe diferencia en la eficacia remediadora abono orgánico de cuyinaza y el biocarbón de cuyinaza en la recuperación de la calidad del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (<i>Eucalyptus</i>).	Variable de calibración: Remediación Biofertilizantes (abono orgánico y biocarbón de cuyinaza) Variable de evaluación: Calidad de suelos: Describir los parámetros biológicos del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (<i>Eucalyptus</i>) antes y después de la aplicación del abono orgánico y biocarbón de cuyinaza. Parámetros físicos - Humedad - Textura	Tipo de investigación: Con intervención, prospectivo, longitudinal y analítico. Enfoque: Cuantitativo Nivel: Aplicativo Diseño: Experimental del tipo de experimentos verdaderos Población: Está constituida por 100 m² de suelos degradados del distrito de Huariaca Muestra: Son 10 m² de suelo degradado proveniente de la población de estudio.
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVO ESPECIFICO			
¿Cuáles son los parámetros físicos del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (<i>Eucalyptus</i>) antes y después de la aplicación del abono orgánico y biocarbón de cuyinaza?	Describir los parámetros físicos del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (<i>Eucalyptus</i>) antes y después de la aplicación del abono orgánico y biocarbón de cuyinaza.			

¿Cuáles son los parámetros químicos del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (*Eucalyptus*) antes y después de la aplicación del abono orgánico y biocarbón de cuyinaza?

Describir los parámetros químicos del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (*Eucalyptus*) antes y después de la aplicación del abono orgánico y biocarbón de cuyinaza.

¿Cuáles son los parámetros biológicos del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (*Eucalyptus*) antes y después de la aplicación del abono orgánico y biocarbón de cuyinaza?

Describir los parámetros biológicos del suelo erosionado por cultivos de eucalipto (*Eucalyptus*) antes y después de la aplicación del abono orgánico y biocarbón de cuyinaza.

Parámetros químicos

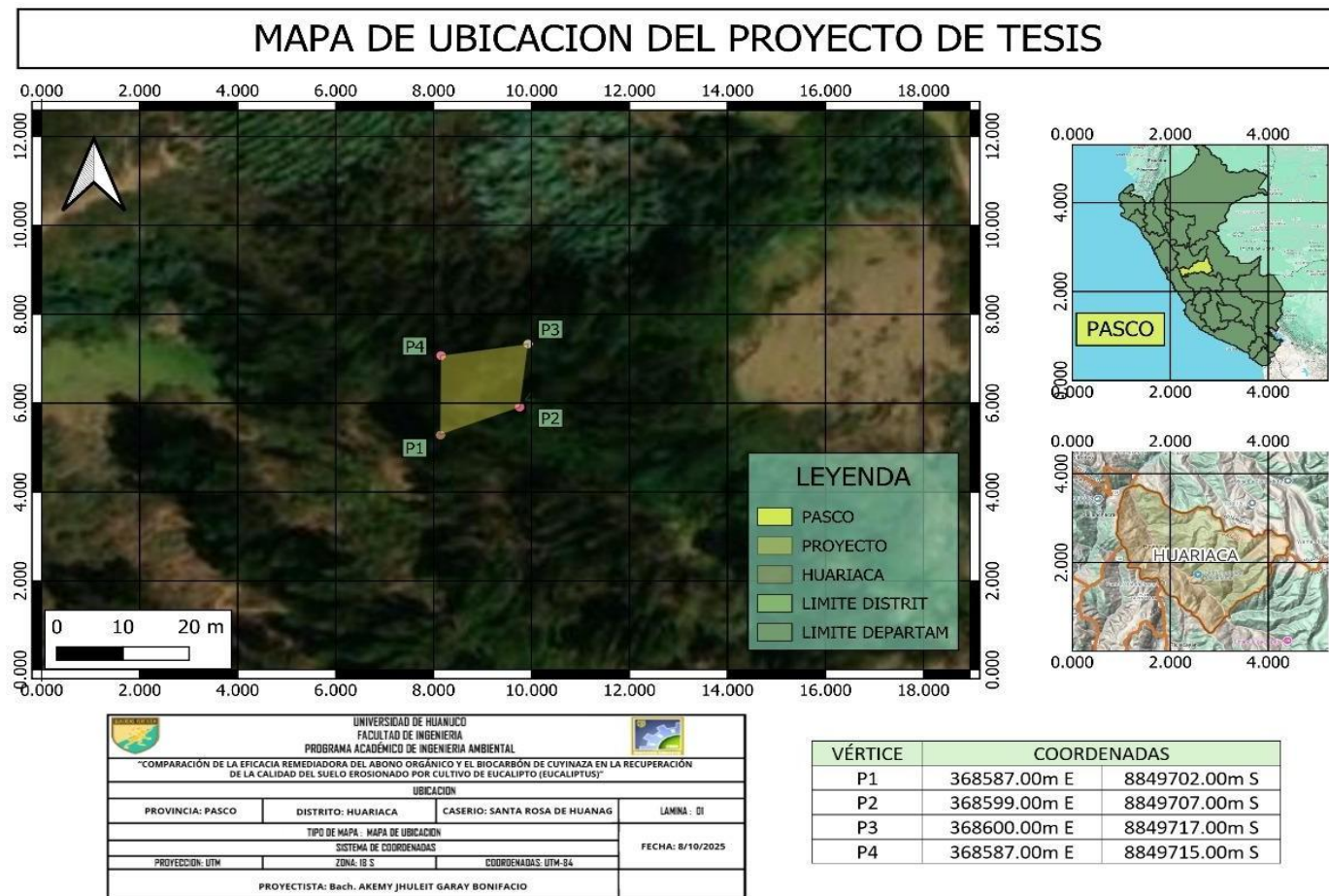
- Materia orgánica
- Ph
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC)
- Conductividad
- Nitrógeno
- Fosforo
- Potasio
- Magnesio
- Hierro

Parámetros biológicos

- Contenido de biomasa microbiana
-

ANEXO 4

MAPA DE UBICACIÓN



ANEXO 5

DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO



ANEXO 6

DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 7

PANEL FOTOGRÁFICO

Delimitación del área experimental mediante el trazado de parcelas en el terreno de estudio, previo a la aplicación de los tratamientos establecidos



Identificación de la parcela correspondiente al tratamiento T1, evidenciando el estado inicial del suelo antes de la incorporación de enmiendas.



Identificación de la parcela correspondiente al tratamiento T4, donde se observa la preparación superficial del suelo para la aplicación del tratamiento.



Marcación y delimitación de la parcela correspondiente al grupo G1, realizada para asegurar el control espacial del experimento.



Marcación y delimitación de la parcela correspondiente al grupo G2, establecida para la aplicación del tratamiento asignado.



Aplicación del material enmienda sobre la superficie del suelo dentro de la parcela G2, como parte del tratamiento experimental.



Detalle del material aplicado en el tratamiento, correspondiente al biocarbón, utilizado como enmienda para la mejora de las propiedades del suelo.



Preparación y acondicionamiento del suelo en la parcela experimental, previo a la incorporación del tratamiento asignado, con presencia del Asesor.



Registro de las actividades de campo durante la instalación del experimento, evidenciando el uso de equipos de protección personal y la correcta ejecución del procedimiento.



ANEXO 8

CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRA CONTROL: T0

FICHA DE CADENA DE CUSTODIA

Fecha de muestreo <i>Muestro control</i>		Hora	
Responsable del muestreo <i>Akemy Jhuleit Garay Bonifacio</i>		Firma <i>[Firma]</i>	
INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
Nombre o Razón social del propietario <i>Akemy Jhuleit Garay Bonifacio</i>		Teléfono <i>94424427</i>	
Dirección		Persona de contacto	
Municipio o Departamento		Sitio del monitoreo	

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA																
Código Lab. ABC	N° de muestra	Identificación de la muestra	Toma de muestra			Preservado		Matriz o tipo de muestra				Tipo y Cantidad de Recipientes				Prueba a realizar
			Año	Mes	Día	Si	No	Lodo	Sedimento	Cenizas	Materia prima	Plástico	Vidrio	Bolsa plástica	Otros	
<i>T0</i>	<i>1</i>		<i>25</i>	<i>11</i>	<i>20</i>	<i>X</i>			<i>X</i>					<i>X</i>		<i>Análisis de laboratorio</i>

Muestreado por : <i>Akemy Jhuleit</i> Garay Bonifacio	Supervisado por : <i>Mg. Milton Edwin</i> Aquino Morales
--	---

ANEXO 9

CADENA DE CUSTODIA DE ABONO ORGÁNICO: T1, T2, T3, T4 Y T5

FICHA DE CADENA DE CUSTODIA

Fecha de muestreo	Muestreo de Abono Orgánico	Hora	
Responsable del muestreo	Akemy Jhuleit Garay Bonifacio	Firma	<i>Akemy Jhuleit</i>
INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
Nombre o Razón social del propietario	Akemy Jhuleit Garay Bonifacio	Teléfono	934344127
Dirección	Persona de contacto		
Municipio o Departamento	Sitio del monitoreo		

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA																
Código Lab. ABC	N° de muestra	Identificación de la muestra	Toma de muestra			Preservado		Matriz o tipo de muestra				Tipo y Cantidad de Recipientes				Prueba a realizar
			Fecha			Si	No	Lado	Sebo	Centas	Materia prima	Plástico	Vidrio	Bolsa plástica	Otros	
			Año	Mes	Día											
Pb-01	1	—	25	11	22	X			X					X		Análisis de laboratorio
Pb-02	2	—	25	12	02	X			X					X		Análisis de laboratorio
Pb-03	3	—	25	12	22	X			X					X		Análisis de laboratorio
Pb-04	4	—	26	01	03	X			X					X		Análisis de laboratorio
Pb-05	5	—	16	01	22	X			X					X		Análisis de laboratorio

Muestreado por : Akemy Jhuleit
Garay Bonifacio

Supervisado por : Mg. Milton Edwin
Aquino Morales

ANEXO 10

CADENA DE CUSTODIA BIOCARBON DE CUYINAZA: T1, T2, T3, T4 Y T5

FICHA DE CADENA DE CUSTODIA

Fecha de muestreo <u>Análisis de Biocarbon</u>		Hora	
Responsable del muestreo <u>Akemy Jhuleit Garay Bonifacio</u>		Firma <u>Akemy Jhuleit Garay Bonifacio</u>	
INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
Nombre o Razón social del propietario <u>Akemy Jhuleit Garay Bonifacio</u>		Teléfono <u>974344177</u>	
Dirección <u>—</u>		Persona de contacto <u>—</u>	
Municipio o Departamento <u>Huancayo</u>		Sitio del monitoreo <u>—</u>	

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA																
Código Lab. ABC	N° de muestra	Identificación de la muestra	Toma de muestra			Preservado		Matriz o tipo de muestra				Tipo y Cantidad de Recipientes				Prueba a realizar
			Año	Mes	Día	Si	No	Lodo	Sedimento	Centas	Materia prima	Plástico	Vidrio	Bolsa plástica	Otros	
B1-01	1	—	25	11	22	X			X					X	Análisis de laboratorio	
B1-02	2	—	25	12	07	X			X					X	Análisis de laboratorio	
B1-03	3	—	25	12	22	X			X					X	Análisis de laboratorio	
B1-04	4	—	26	01	07	X			X					X	Análisis de laboratorio	
B1-05	5	—	26	01	22	X			X					X	Análisis de laboratorio	

Muestreado por : Akemy Jhuleit Garay Bonifacio

Supervisado por : Mg. Milton Edwin Aquino Morales

ANEXO 11

ANALISIS DE LABORATORIO: T0



ANALISIS ESPECIAL



SOLICITANTE:	AKEMY JHULEIT GARAY BONIFACIO								FECHA DE RECEPCIÓN:		07/11/2025				
PROCEDENCIA:	SANTA ROSA DE HUANAG - HUARIACA								FECHA DE REPORTE:		11/11/2025				
REFERENCIA:	FINES DE INVESTIGACIÓN								MUESTREADO POR:		SOLICITANTE				
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO															
Nº	DATOS		PARAMETROS FÍSICOS			PARAMETROS QUÍMICOS			PARAMETROS BIOLÓGICOS		NUTRIENTES				
			Materia orgánica	Textura	Humedad	pH	CIC	Conductividad	Contenido de biomasa micro-biana. Cmic	Rendimiento del cultivo	Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Magnesio	Hierro
	CÓDIGO DEL LABORATORIO	MUESTRA	%		%	1:1	1:1 cmol(+)Kg	Ds/ cm	Cmic (mg C/kg suelo)	%	%	(mg/kg)	(cmol(+)kg)	(cmol(+)kg)	(mg/kg)
To	S25-01	Suelo	1.90	Franco Arcilloso-arenoso.	30	8.13	5	13.79	190	35	0.04	8	0.2	0.25	3



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María



Bach. Yeray Abigail Apaza Granda
Analista de suelos

ANEXO 12

ANALISIS DE LABORATORIO DEL BIOCARBON DE CUYINAZA



ANALISIS ESPECIAL



SOLICITANTE:	AKEMY JHULEIT GARAY BONIFACIO								FECHA DE RECEPCIÓN:		22/11/2025				
PROCEDENCIA:	SANTA ROSA DE HUANAG - HUARIACA								FECHA DE REPORTE:		26/11/2025				
REFERENCIA:	FINES DE INVESTIGACIÓN								MUESTREADO POR:		SOLICITANTE				
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO															
Nº	DATOS		PARAMETROS FÍSICOS			PARAMETROS QUÍMICOS			PARAMETROS BIOLÓGICOS		NUTRIENTES				
			Materia orgánica	Textura	Humedad	pH	CIC	Conductividad	Contenido de biomasa micro-biana. Cmic (mg C/kg suelo)	Rendimiento del cultivo	Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Magnesio	Hierro
	CÓDIGO DEL LABORATORIO	MUESTRA	%		%	1:1	1:1 cmol(+)/Kg	Ds/ cm		%	%	(mg/kg)	(cmol (+)/kg)	(cmol (+)/kg)	(mg/kg)
T1	S25-01	Suelo	2.25	Franca	45	8.11	7.5	9.1	390	50	0.15	11	0.35	0.35	5



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Yeray Abigail Apaza Granda



Bach. Yeray Abigail Apaza Granda
Analista de suelos



ANALISIS ESPECIAL



SOLICITANTE:	AKEMY JHULEIT GARAY BONIFACIO									FECHA DE RECEPCIÓN:		22/12/2025			
PROCEDENCIA:	SANTA ROSA DE HUANAG - HUARIACA									FECHA DE REPORTE:		26/12/2025			
REFERENCIA:	FINES DE INVESTIGACIÓN									MUESTREADO POR:		SOLICITANTE			
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO															
Nº	DATOS		PARAMETROS FÍSICOS			PARAMETROS QUÍMICOS			PARAMETROS BIOLÓGICOS		NUTRIRNTES				
			Materia orgánica	Textura	Humedad	pH	CIC	Conductividad	Contenido de biomasa micro- biana. Cmic (mg C/kg suelo)	Rendimiento del cultivo	Nitrógeno	Fosforo	Potacio	Magnesio	Hierro
	CÓDIGO DEL LABORATORIO	MUESTRA	%		%	1:1	1:1 cmol(+)/Kg	Ds/ cm		%	%	(mg/kg)	(cmol (+)/kg)	(cmol (+)/kg)	(mg/kg)
T3	S25-01	Suelo	3.20	Franca	69	7.1	15	4.5	750	75	0.25	25	0.6	0.99	12



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Yeray Abigail Apaza Granda



Bach. Yeray Abigail Apaza Granda
Analista de suelos



ANALISIS ESPECIAL



SOLICITANTE:	AKEMY JHULEIT GARAY BONIFACIO									FECHA DE RECEPCIÓN:		07/01/2025			
PROCEDENCIA:	SANTA ROSA DE HUANAG - HUARIACA									FECHA DE REPORTE:		12/01/2025			
REFERENCIA:	FINES DE INVESTIGACIÓN									MUESTREADO POR:		SOLICITANTE			
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO															
Nº	DATOS		PARAMETROS FÍSICOS			PARAMETROS QUÍMICOS			PARAMETROS BIOLÓGICOS		NUTRINTES				
			Materia orgánica	Textura	Humedad	pH	CIC	Conductividad	Contenido de biomasa micro-biana. Cmic (mg C/kg suelo)	Rendimiento del cultivo	Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Magnesio	Hierro
	CÓDIGO DEL LABORATORIO	MUESTRA	%		%	1:1	1:1 cmol(+) Kg	Ds/ cm		%	%	(mg/kg)	(cmol (+)/kg)	(cmol (+)/kg)	(mg/kg)
T4	S25-01	Suelo	3.80	Franca	71	6.8	21	2.8	890	84	0.25	33	0.75	1.4	16



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María



Bach. Yeray Abigail Apaza Granda
Analista de suelos



ANALISIS ESPECIAL



SOLICITANTE:	AKEMY JHULEIT GARAY BONIFACIO								FECHA DE RECEPCIÓN:	07/12/2025					
PROCEDENCIA:	SANTA ROSA DE HUANAG - HUARIACA								FECHA DE REPORTE:	11/12/2025					
REFERENCIA:	FINES DE INVESTIGACIÓN								MUESTREADO POR:	SOLICITANTE					
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO															
Nº	DATOS		PARAMETROS FÍSICOS			PARAMETROS QUÍMICOS			PARAMETROS BIOLÓGICOS		NUTRIENTES				
			Materia orgánica	Textura	Humedad	pH	CIC	Conductividad	Contenido de biomasa micro-biana.	Rendimiento del cultivo	Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Magnesio	Hierro
	CÓDIGO DEL LABORATORIO	MUESTRA	%		%	1:1	1:1 cmol(+)/Kg	Ds/ cm	Cmic (mg C/kg suelo)	%	%	(mg/kg)	(cmol (+)/kg)	(cmol (+)/kg)	(mg/kg)
T2	S25-01	Suelo	2.75	Franca	58	7.5	10	7.6	600	60	0.23	17	0.49	0.58	9



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María



Bach. Yeray Abigail Apaza Granda
Analista de suelos



ANALISIS ESPECIAL



SOLICITANTE:	AKEMY JHULEIT GARAY BONIFACIO								FECHA DE RECEPCIÓN:		22/01/2025				
PROCEDENCIA:	SANTA ROSA DE HUANAG - HUARIACA								FECHA DE REPORTE:		27/01/2025				
REFERENCIA:	FINES DE INVESTIGACIÓN								MUESTREADO POR:		SOLICITANTE				
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO															
N°	DATOS		PARAMETROS FÍSICOS			PARAMETROS QUÍMICOS			PARAMETROS BIOLÓGICOS		NUTRIENTES				
			Materia orgánica	Textura	Humedad	pH	CIC	Conductividad	Contenido de biomasa micro-biana. Cmic (mg C/kg suelo)	Rendimiento del cultivo	Nitrógeno	Fosforo	Potacio	Magnesio	Hierro
	CÓDIGO DEL LABORATORIO	MUESTRA	%		%	1:1	1:1 emol(+)/kg	Ds/ cm		%	%	(mg/kg)	(cmol (+)/kg)	(cmol (+)/kg)	(mg/kg)
T5	S25-01	Suelo	4.65	Franca	76	6.7	24	1.90	1100	86	0.28	39	0.92	1.8	18



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Yeray Abigail Apaza Granda



Bach. Yeray Abigail Apaza Granda
Analista de suelos

ANEXO 13

ANALISIS DE LABORATORIO DEL ABONO ORGANICO DE CUYINAZA



ANALISIS ESPECIAL



SOLICITANTE:		AKEMY JHULEIT GARAY BONIFACIO							FECHA DE RECEPCIÓN:		22/11/2025				
PROCEDENCIA:		SANTA ROSA DE HUANAG - HUARIACA							FECHA DE REPORTE:		26/11/2025				
REFERENCIA:		FINES DE INVESTIGACIÓN							MUESTREADO POR:		SOLICITANTE				
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO															
Nº	DATOS		PARAMETROS FÍSICOS			PARAMETROS QUÍMICOS			PARAMETROS BIOLÓGICOS		NUTRIENTES				
			Materia orgánica	Textura	Humedad	pH	CIC	Conductividad	Contenido de biomasa microbiana.	Rendimiento del cultivo	Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Magnesio	Hierro
	CÓDIGO DEL LABORATORIO	MUESTRA	%		%	1:1	1:1 cmol(+)/Kg	Ds/ cm	Cmic (mg C/kg suelo)	%	%	(mg/kg)	(cmol (+)/kg)	(cmol (+)/kg)	(mg/kg)
T1	S25-01	Suelo	2.00	Franca	40	8.1	7	11.5	300	45	0.15	10	0.25	0.3	4



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Yeray Abigail Apaza Granda



Bach. Yeray Abigail Apaza Granda
Analista de suelos



ANALISIS ESPECIAL



SOLICITANTE:	AKEMY JHULEIT GARAY BONIFACIO									FECHA DE RECEPCIÓN:		07/12/2025			
PROCEDENCIA:	SANTA ROSA DE HUANAG - HUARIACA									FECHA DE REPORTE:		11/12/2025			
REFERENCIA:	FINES DE INVESTIGACIÓN									MUESTREADO POR:		SOLICITANTE			
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO															
Nº	DATOS		PARAMETROS FÍSICOS			PARAMETROS QUÍMICOS			PARAMETROS BIOLÓGICOS		NUTRIENTES				
			Materia orgánica	Textura	Humedad	pH	CIC	Conductividad	Contenido de biomasa microbiana.	Rendimiento del cultivo	Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Magnesio	Hierro
	CÓDIGO DEL LABORATORIO	MUESTRA	%		%	1:1	1:1 cmol(+)Kg	Ds/ cm	Cmic (mg C/kg suelo)	%	%	(mg/kg)	(cmol (+)/kg)	(cmol (+)/kg)	(mg/kg)
T2	S25-01	Suelo	2.45	Franca	50	7.7	9	8	650	50	0.19	15	0.4	0.43	7



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María



Bach. Yeray Abigail Apaza Granda
Analista de suelos



ANALISIS ESPECIAL



SOLICITANTE:	AKEMY JHULEIT GARAY BONIFACIO									FECHA DE RECEPCIÓN:		22/12/2025			
PROCEDENCIA:	SANTA ROSA DE HUANAG - HUARIACA									FECHA DE REPORTE:		26/12/2025			
REFERENCIA:	FINES DE INVESTIGACIÓN									MUESTREADO POR:		SOLICITANTE			
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO															
Nº	DATOS		PARAMETROS FÍSICOS			PARAMETROS QUÍMICOS			PARAMETROS BIOLÓGICOS		NUTRIENTES				
			Materia orgánica	Textura	Humedad	pH	CIC	Conductividad	Contenido de biomasa microbiana.	Rendimiento del cultivo	Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Magnesio	Hierro
	CÓDIGO DEL LABORATORIO	MUESTRA	%		%	1:1	1:1 cmol(+)/Kg	Ds/ cm	Cmic (mg C/kg suelo)	%	%	(mg/kg)	(cmol (+)/kg)	(cmol (+)/kg)	(mg/kg)
T3	S25-01	Suelo	2.90	Franca	58	7.5	14	7.5	690	65	0.21	23	0.5	0.8	11



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Yeray Abigail Apaza Granda



Bach. Yeray Abigail Apaza Granda
Analista de suelos



ANALISIS ESPECIAL



SOLICITANTE:	AKEMY JHULEIT GARAY BONIFACIO								FECHA DE RECEPCIÓN:		07/01/2025				
PROCEDENCIA:	SANTA ROSA DE HUANAG - HUARIACA								FECHA DE REPORTE:		12/01/2025				
REFERENCIA:	FINES DE INVESTIGACIÓN								MUESTREADO POR:		SOLICITANTE				
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO															
Nº	DATOS		PARAMETROS FÍSICOS			PARAMETROS QUÍMICOS			PARAMETROS BIOLÓGICOS		NUTRIENTES				
			Materia orgánica	Textura	Humedad	pH	CIC	Conductividad	Contenido de biomasa micro-biana. Cmic (mg C/kg suelo)	Rendimiento del cultivo	Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Magnesio	Hierro
	CÓDIGO DEL LABORATORIO	MUESTRA	%		%	1:1	1:1 cmol (+)/Kg	Ds/ cm		%	%	(mg/kg)	(cmol (+)/kg)	(cmol (+)/kg)	(mg/kg)
T4	S25-01	Suelo	3.40	Franco	65	7.3	19	3.1	800	73	0.23	30	0.65	1.2	13



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María



Bach. Yeray Abigail Apaza Granda
Analista de suelos



ANALISIS ESPECIAL



SOLICITANTE:	AKEMY JHULEIT GARAY BONIFACIO								FECHA DE RECEPCIÓN:	22/01/2025					
PROCEDENCIA:	SANTA ROSA DE HUANAG - HUARIACA								FECHA DE REPORTE:	27/01/2025					
REFERENCIA:	FINES DE INVESTIGACIÓN								MUESTREADO POR:	SOLICITANTE					
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO															
Nº	DATOS		PARAMETROS FÍSICOS			PARAMETROS QUÍMICOS			PARAMETROS BIOLÓGICOS		NUTRIENTES				
			Materia orgánica	Textura	Humedad	pH	CIC	Conductividad	Contenido de biomasa microbiana. Cmic (mg C/kg suelo)	Rendimiento del cultivo	Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Magnesio	Hierro
	CÓDIGO DEL LABORATORIO	MUESTRA	%		%	1:1	1:1 cmol(+)/Kg	Ds/ cm		%	%	(mg/kg)	(cmol (+)/kg)	(cmol (+)/kg)	(mg/kg)
T5	S25-01	Suelo	4.12	Franca	71	7.1	22	2.5	980	79	0.24	35	0.85	1.55	15



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María



Bach. Yeray Abigail Apaza Granda
Analista de suelos