UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EFECTO DE LA DOSIS DE ECOCARBÓN DE LA MADERA EN EL CAMBIO DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN SUELO DEGRADADO DE PUCALLPA

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

MARGORI ISAMAR RODRIGUEZ CHUQUIZUTA

MILAGROS RUIZ RAMOS

Pucallpa, Perú

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
N° 236-2025-CGT- FCFyA-UNU

En la ciudad de Pucallpa, siendo las 11:00 horas del día lunes 30 de junio del 2025, de acuerdo con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, estando designados con Memo Múltiple Nº 035-2025-UNU-FCFyA-CGT, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Rubén Darío Manturano Pérez	Presidente
Dr. Grober Panduro Pisco	Miembro
Dr. Aparicio Limache Alonzo	Miembro

Se procedió a la evaluación de sustentación de la tesis denominada: **"EFECTO DE LA DOSIS DE ECOCARBÓN DE LA MADERA EN EL CAMBIO DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN SUELO DEGRADADO DE PUCALLPA"**, presentado por las bachilleres **MARGORI ISAMAR RODRIGUEZ CHUQUIZUTA y MILAGROS RUIZ RAMOS;** asesorado por el **Dr. Edgar Juan Díaz Zúñiga.** Habiendo culminado la sustentación, se procedió a la formulación de preguntas por parte del Jurado Evaluador, las que fueron absueltas por las sustentantes; en consecuencia, la tesis fue **APROBADA** por **UNANIMIDAD,** recomendando subsanar las observaciones realizadas por el jurado evaluador, quedando expedito para el otorgamiento del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL.**

Siendo las 12:20 p.m. del mismo día, se da por culminado el acto académico, firmando los miembros del Jurado Evaluador en señal de conformidad.

Dr. Rubèn Darío Manturano Pérez
Presidente

Dr. Grober Panduro Pisco
Miembro

Dr. Aparicio Limache Alonzo
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. Rubén Darío Manturano Pérez
Presidente

Dr. Grober Panduro Pisco
Miembro

Dr. Aparicio Limache Alonzo
Miembro

Dr. Edgar Juan Díaz Zúñiga
Asesor

Bach. Margori Isamar Rodriguez Chuquizuta
Tesista

Bach. Milagros Ruiz Ramos
Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Nº V/190-2025.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que el trabajo académico de investigación, titulado:

"EFECTO DE LA DOSIS DE ECOCARBÓN DE LA MADERA EN EL CAMBIO DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN SUELO DEGRADADO DE PUCALLPA"

Autor(es)	:	**RODRIGUEZ CHUQUIZUTA, MARGORI ISAMAR**
		RUIZ RAMOS, MILAGROS
Facultad	:	**CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**
Escuela	:	**ING. AMBIENTAL**
Asesor(a)	:	**Dr. DÍAZ ZÚÑIGA, EDGAR JUAN**

Presenta un **porcentaje de similitud de 10%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 10/04/2025

Dirección General de Producción Intelectual UCAYALI

Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Margori Isamar Rodriguez Chuquizuta

Autor de la tesis titulada : "Efecto de la dosis de ecocarbón de la madera en el cambio de algunas propiedades físicas y químicas de un suelo degradado de Pucallpa".

Sustentada el año 2025.

Asesor(a): Dr. Edgar Juan Díaz Zúñiga.

Facultad: Ciencias Forestales y Ambientales.

Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental.

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 30/06/2025.

Email: isamarrchuquizuta@gmail.com Firma: [signature]

Teléfono: 924300867 DNI: 71883465

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Milagros Ruiz Ramos.

Autor de la tesis titulada: "Efecto de la dosis de ecocarbón de la madera en el cambio de algunas propiedades físicas y químicas de un suelo degradado de Pucallpa"

Sustentada el año: 2025.

Asesor(a): Dr. Edgar Juan Díaz Zuñiga.

Facultad: Ciencias forestales y Ambientales.

Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental.

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 30 / 06 / 2025.

Email: milruizra@gmail.com Firma:

Teléfono: 974924540 DNI: 46059937

DEDICATORIA

A nuestro Padre Celestial el Dios Todopoderoso por haber dado la vida y salud, por guiarnos en los caminos de sendero de luz y verdad para llegar hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional.

A nuestros padres, por su amor y apoyo incondicional en cada momento de nuestras vidas, por ser siempre quienes celebran nuestros logros y nos dan aliento de superación en nuestras derrotas.

A nuestros hijos por ser el motivo de superación, y por impulsarnos para ofrecerles siempre lo mejor. No fue fácil, eso lo sabemos, pero tal vez si no estuvieran ustedes, no habríamos logrado tantas grandes cosas.

Y a toda nuestra familia que de una u otra manera nos aconsejaron y nos brindaron su apoyo.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Ucayali (UNU) por habernos aceptado ser parte de ella y abrirnos las puertas de su seno científico para obtener conocimientos y poder realizarnos profesionalmente, a los docentes de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales por su esmerada labor en cada rama de sus trabajos y forjarnos como profesional de buenos usos con valores y principios para nuestra región.

De una manera muy especial a nuestro asesor Dr. Edgar Juan Díaz Zúñiga, por el gran apoyo incondicional, la alta confianza y los sabios conocimientos.

A nuestro Co-asesor, M.Sc. José Antonio López Ucariegue, su persistencia y motivación que ha sido fundamental para la formación como investigadoras para el desarrollo y redacción de la tesis desde el inicio hasta el final.

A todas las demás personas que han colaborado para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA.....vii

AGRADECIMIENTO. viii

ÍNDICE GENERAL ix

ÍNDICE DE TABLAS xii

ÍNDICE DE FIGURAS. xvi

RESUMEN. xviii

ABSTRACT. xix

INTRODUCCIÓN xx

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 1

1.1. Planteamiento del problema 1

1.2. Formulación del problema. 2

1.2.1. Problema general 2

1.2.2. Problemas específicos 2

1.3. Justificación 3

1.4. Objetivos de la investigación 4

1.4.1. Objetivo general 4

1.4.2. Objetivos específicos..... 4

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 5

2.1. Antecedentes de la investigación.....5

2.1.1. Antecedentes internacionales 5

2.1.2. Antecedentes nacionales 8

2.1.3. Antecedentes locales 10

2.2. BASES TEÓRICAS. 12

2.2.1. Dosis de ecocarbón 12
2.2.2. Propiedades físicas y químicas del ecocarbón 13
2.2.3. Efecto del ecocarbón en el suelo 14
2.3. Definición de términos básicos 16
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA 20
3.1. Ubicación. 20
3.2. Características del lugar. 21
3.2.1. Clima. 21
3.2.2. Accesibilidad. 22
3.3. Metodología de la investigación. 22
3.4. Población y muestra 23
3.4.1. Población. 23
3.4.2. Muestra 23
3.5. Diseño experiemental 23
3.5.1. Diseño estadístico 24
3.5.2. Diseño y distribución experimental 25
3.5.3. Distribución de las unidades experimentales 26
3.6. Variables en estudio. 26
3.6.1. Variable independiente. 26
3.6.2. Variable dependiente 26
3.6.3. Operacionalización de las variables. 26
3.7. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos. 30
3.7.1. Técnicas de recolección de datos 30
3.7.2. Materiales, insumos, equipos, indumentaria e instrumentos de recolección de datos 31

3.8. Procedimientos de la recolección de datos..... 31
3.8.1. Trabajo en gabinete..... 31
3.8.2. Trabajo de campo..... 32
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 46
4.1. Resultados generales. 46
4.2. Efecto de la dosis de ecocarbón en las propiedades físicas del suelo. ... 48
4.2.1. Textura del suelo. 48
4.2.2. Contenido de materia orgánica. 48
4.3. Efecto de las dosis de ecocarbón en las propiedades químicas del suelo.....51
4.3.1. pH del suelo. 51
4.3.2. Contenido de N total. 53
4.3.3. Contenido de P disponible. 55
4.3.4. Contenido de K cambiable 58
4.3.5. Contenido de Ca cambiable. 60
4.3.6. Contenido de Mg cambiable. 62
4.3.7. Contenido de Al cambiable. 64
4.3.8. Capacidad de intercambio catiónico (CIC). 66
4.4. Porcentaje acidez cambiable (PAC). 68
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 71
5.1. Conclusiones 71
5.2. Recomendaciones 72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 74
ANEXOS. 80

ÍNDICE DE TABLAS

En el texto: **Pág.**

Tabla 1. Características de los tratamientos aplicados……. 24

Tabla 2. Análisis de varianza…… 24

Tabla 3. Operacionalización de las variables en estudio…….. 27

Tabla 4. Resultados generales del ensayo. ……..…. 47

Tabla 5. Resultados de la textura del suelo por tratamiento y evaluación…….…….…….. 48

Tabla 6. Materia orgánica por tratamiento y por evaluación…….…. 49

Tabla 7. pH del suelo por tratamiento y evaluación…….. 51

Tabla 8. Contenido de N Total del suelo por tratamiento y evaluación…… 54

Tabla 9. Contenido de P disponible por tratamiento y evaluación…... 56

Tabla 10. Contenido de K cambiable por tratamiento y evaluación….. 59

Tabla 11. Contenido de Ca cambiable por tratamiento y evaluación…. 60

Tabla 12. Contenido de Mg cambiable por tratamiento y evaluación… 62

Tabla 13. Contenido de Al cambiable por tratamiento y evaluación…. 64

Tabla 14. CIC por tratamiento y evaluación…….. 66

Tabla 15. PAC por tratamiento y evaluación…… 69

En el anexo:

Tabla 1A. ANVA de materia orgánica a los 30 días después de la aplicación…….. 90

Tabla 2A. ANVA de materia orgánica a los 60 días después de la aplicación…….. 90

Tabla 3A. ANVA de materia orgánica a los 90 días después de la aplicación…….. 90

Tabla 4A. ANVA de pH del suelo a los 30 días después de la aplicación…….. 91

Tabla 5A. ANVA de pH del suelo a los 60 días después de la aplicación…….. 91

Tabla 6A. ANVA de pH del suelo a los 90 días después de la aplicación…….. 91

Tabla 7A. ANVA de N total a los 30 días después de la aplicación…… 92

Tabla 8A. ANVA de N total a los 60 días después de la aplicación….. 92

Tabla 9A. ANVA de N total a los 90 días después de la aplicación….. 92

Tabla 10A. ANVA de P disponible a los 30 días después de la aplicación…….. 93

Tabla 11A. ANVA de P disponible a los 60 días después de la aplicación…….. 93

Tabla 12A. ANVA de P disponible a los 90 días después de la aplicación…….. 93

Tabla 13A. ANVA de K cambiable a los 30 días después de la aplicación…….. 94

Tabla 14A. ANVA de K cambiable a los 60 días después de la aplicación…….. 94

Tabla 15A. ANVA de K cambiable a los 90 días después de la aplicación…….. 94

Tabla 16A. ANVA de Ca cambiable a los 30 días después de la aplicación…….. ... 95

Tabla 17A. ANVA de Ca cambiable a los 60 días después de la aplicación……. 95

Tabla 18A. ANVA de Ca cambiable a los 90 días después de la aplicación…….. 95

Tabla 19A. ANVA de Mg cambiable a los 30 días después de la aplicación…….. 96

Tabla 20A. ANVA de Mg cambiable a los 60 días después de la aplicación…….. 96

Tabla 21A. ANVA de Mg cambiable a los 90 días después de la aplicación…….. 96

Tabla 22A. ANVA de Al cambiable a los 30 días después de la aplicación…….. 97

Tabla 23A. ANVA de Al cambiable a los 60 días después de la aplicación…….. 97

Tabla 24A. ANVA de Al cambiable a los 90 días después de la aplicación…….. 97

Tabla 25A. ANVA de CIC del suelo a los 30 días después de la aplicación…….. 98

Tabla 26A. ANVA de CIC del suelo a los 60 días después de la aplicación…….. 98

Tabla 27A. ANVA de CIC del suelo a los 90 días después de la aplicación…….. 98

Tabla 28A. ANVA de PAC del suelo a los 30 días después de la aplicación…….. 99

Tabla 29A. ANVA de PAC del suelo a los 60 días después de la aplicación……. 99

Tabla 30A. ANVA de PAC del suelo a los 90 días después de la aplicación…….. 99

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Mapa de ubicación – Microlocalización del distrito de Callería……. 20

Figura 2. Ubicación de la ejecución de la tesis…… 21

Figura 3. Datos meteorológicos del área experimental UNU)…….. 22

Figura 4. Croquis experimental…….. 26

Figura 5. Referencia de acceso (Grifo SALMU)……. 32

Figura 6. Imagen satelital de ingreso hacia la carbonera…….. 33

Figura 7. Perímetro de la carbonera……. 33

Figura 8. Colecta de ecocarbón del aserradero de Manantay……. 34

Figura 9. Ecocarbón listo para su traslado a la Universidad Nacional de Ucayali……. 35

Figura 10. Muestras de suelo por tratamiento para análisis de caracterización……. 36

Figura 11. Colecta de muestras de suelo por unidad experimental…… 36

Figura 12. Colocación del letrero de identificación del trabajo de investigación…….……..…… 37

Figura 13. Alineamiento del ensayo por cada unidad experimental..….. 37

Figura 14. Distribución de las unidades experimentales……..…… 38

Figura 15. Aplicación de las dosis de ecocarbón por unidad experimental……. 39

Figura 16. Aplicación de las dosis de ecocarbón por cada tratamiento……. 40

Figura 17. Adecuación de los baldes para muestreo de suelo…… 41

Figura 18. Colocación de los baldes para el muestreo de suelos…….. 41

Figura 19. Molienda de las muestras de suelo y preparación de extractantes para determinación de P disponible en el ensayo…….…….. 42

Figura 20. Preparación de muestras de suelo para análisis de caracterización……. 43

Figura 21. Pesado de muestras para análisis de caracterización…….. 43

Figura 22. Preparación de extractantes para determinación de P disponible en el ensayo…….. 44

Figura 23. Preparación de muestras de suelo para análisis de caracterización……. 45

Figura 24. Contenido de materia orgánica por tratamiento y evaluación……. 50

Figura 25. pH del suelo por tratamiento y evaluación……..…… 52

Figura 26. Contenido de N total por tratamiento y evaluación…… 54

Figura 27. Contenido de P disponible por tratamiento y evaluación….. 57

Figura 28. Contenido de K cambiable por tratamiento y evaluación….. 59

Figura 29. Contenido de Ca cambiable por tratamiento y evaluación… 61

Figura 30. Contenido de Mg cambiable por tratamiento y evaluación… 63

Figura 31. Contenido de Al cambiable por tratamiento y evaluación….. 65

Figura 32. CIC por tratamiento y evaluación……..…… 67

Figura 33. PAC por tratamiento y evaluación…… 69

RESUMEN

En la selva peruana, por la fragilidad de sus suelos, es poco probable que se pueda sostener una agricultura intensiva o sistemas agroforestales, y en este sentido, se necesita contar con renovadas tecnologías ambientales, como el aporte de C al suelo mediante la aplicación del ecocarbón, con lo cual se mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, con potencialidades amplias en la remediación ambiental. En este sentido, la investigación desarrollada en la Universidad Nacional de Ucayali, tuvo como propósito, evaluar la eficiencia de la aplicación de tres niveles de ecocarbón de madera en algunas propiedades físicas y químicas del suelo. Los tratamientos fueron 1, 2 y 3 kg m^2 de ecocarbón y un testigo control, aplicados al suelo y evaluados por algunas propiedades físicas y químicas durante 3 momentos: a los 30, 60 y 90 días después de la aplicación, bajo un diseño de BCA con 4 repeticiones. Los resultados indican que, la textura no estuvo influenciada por las dosis de ecocarbón, sin embargo, el nivel de 3 kg m^2 de ecocarbón tuvo un efecto significativo en el pH del suelo, contenido de materia orgánica y N total, P disponible y K cambiable, así como en la mayor reducción de la acidez cambiable, a los 60 y 90 días después de la aplicación.

Palabras clave: Suelo, ecocarbón, niveles, propiedades físicas, químicas, contenido.

ABSTRACT

In the Peruvian jungle, due to the fragility of its soils, it is unlikely that intensive agriculture or agroforestry systems can be sustained, and in this sense, there is a need for renewed environmental technologies, such as the contribution of C to the soil through the application of ecochar, which improves the physical and chemical properties of the soil, with broad potential for environmental remediation. In this sense, the research developed at the National University of Ucayali aimed to evaluate the efficiency of the application of three levels of wood ecochar on some physical and chemical properties of the soil. The treatments were 1, 2 and 3 kg m^2 of ecochar and a control witness, applied to the soil and evaluated for some physical and chemical properties during 3 moments: at 30, 60 and 90 days after application, under a BCA design with 4 repetitions. The results indicate that texture was not influenced by the ecochar dosages, however, the 3 kg m2 ecochar level had a significant effect on soil pH, organic matter content and total N, available P and exchangeable K, as well as the greatest reduction in exchangeable acidity, at 60 and 90 days after application.

Keywords: Soil, ecochar, levels, physical and chemical properties, content.

INTRODUCCIÓN

Los suelos ácidos ocupan el 65% de la selva peruana y se encuentran tanto en los terrenos de altura de la Selva baja como en las terrazas antiguas o laderas de la Selva alta y son predominantes de las restingas altas de Pucallpa.

Típicamente están caracterizados por la presencia de arcillas caolinitas, de color rojo y amarillo, evolucionados, incluso degradados por su uso, con horizontes bien diferenciados.

Con estas características edáficas, el contenido de materia orgánica es mínimo, por debajo del 2%, lo cual conlleva a una alta relación C/N, por la escasa participación del N disponible en el suelo.

Bajo estas condiciones, es poco probable que se pueda sostener una agricultura de carácter intensiva o en sistemas agroforestales, por lo que se necesita contar con renovadas tecnologías ambientales y el reaprovechamiento de los residuos orgánicos vegetales, con alto contenido de C, permitiendo el desarrollo de nuevas alternativas de recuperación de suelos.

Una de estas alternativas lo constituye la aplicación de ecocarbón, el cual puede mejorar la fertilidad del suelo, reduciendo la necesidad de fertilizantes y mitigando emisiones de óxidos de N.

En este sentido, este trabajo se desarrolla como una alternativa para hacer productivas, extensas áreas de terrenos degradados y empobrecidos que existen en nuestra región, por lo que se espera contar con una tecnología limpia, accesible a la economía del productor y amigable con el ambiente.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Los suelos ácidos ocupan el 65% de la selva peruana, y se encuentran tanto en los terrenos de altura de la Selva baja como en las terrazas antiguas o laderas de la Selva alta y son predominantes de las restingas altas de Pucallpa. Están caracterizados por la presencia de arcillas caolinitas, de color rojo y amarillo, evolucionados, incluso degradados por su uso, con horizontes bien diferenciados.

Uno de los problemas asociados a su baja fertilidad es la pérdida de C del suelo, el cual por efecto de las diversas reacciones de descomposición de la materia orgánica es transformado hasta en un 65 % como CO2, cuando es elevado a la atmosfera, por lo que es necesario compensar este déficit, secuestrando el C del suelo, mediante la aplicación de fuentes orgánicas de C (Ramírez, 2019).

Con esta problemática se busca un suelo productivo que pueda sostener una agricultura intensiva o sistemas agroforestales, y en este sentido, Aquije (2019), sostiene que, se necesita contar con renovadas tecnologías ambientales mediante el uso de residuos orgánicos vegetales, con alto contenido de C, cuya descomposición permitirá mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, logrando corregir los niveles de fertilidad y por ende mayor producción de cultivos.

En este sentido, uno de productos obtenidos a partir de la descomposición térmica de los residuos orgánicos y en una atmósfera

ausente o pobre en oxígeno lo constituye el ecocarbón, porque estabiliza el C de la materia orgánica (Olmo, 2023).

El ecocarbón tiene un rol muy importante en el campo agrario, ya que puede mejorar la fertilidad del suelo, reduciendo la necesidad de fertilizantes y mitigando las emisiones de óxidos de N, además de útil para la gestión de residuos orgánicos (Jeffery, 2015).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es el efecto del ecocarbón de la madera en el cambio de las propiedades físicas y químicas de un suelo degradado de Pucallpa?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la dosis de ecocarbón que genera cambios en algunas propiedades físicas y químicas de suelo?
- ¿Cómo cambian algunas propiedades físicas de un suelo degradado de Pucallpa a los 30, 60 y 90 días por efecto de las dosis de ecocarbón?
- ¿Cómo cambian algunas propiedades químicas de un suelo degradado de Pucallpa a los 30, 60 y 90 días por efecto de las dosis de ecocarbón?

1.3. Justificación

El C es un elemento que en el suelo es necesario para formar cadenas de carbohidratos como fuente alimenticia de los microorganismos específicos que descomponen la materia orgánica, y por ser muy volátil, más del 65% se pierde a la atmosfera como CO_2, durante el proceso de mineralización del N, quedando la diferencia para formar compuestos húmicos, así como nitritos y nitratos.

Al incrementarse el contenido de C, con la adición de productos como el ecocarbón, se puede aumentar la relación C/N, importante para la absorción de bases cambiables y la capacidad de intercambio iónico.

Por tanto, el trabajo se desarrolla como una alternativa para hacer productivos, extensas áreas de terrenos degradados y empobrecidos que existen en la región Ucayali, que actualmente están improductivas y que, la tecnología que planteamos investigar, permitirá aprovechar mejor el recurso suelo para sostener una agricultura con bienestar familiar.

La investigación también se justifica porque será una contribución para recuperar suelos que ya están degradados o están en ese proceso, y que existen en abundancia en la región que actualmente se encuentran subutilizados o cubiertos a procesos de bosques secundarios poco productivos y sujetos de deforestación, la recuperación de estos suelos se llevará a cabo con la aplicación de ecocarbón, producto del carbón vegetal que será aplicado como enmienda al suelo degradado.

Se espera contar con una tecnología limpia, accesible a la economía del productor, amigable con el ambiente y especialmente, la obtención de un producto elaborado por pirólisis de los residuos de madera que procesan

los aserraderos asentados en el distrito de Manantay y que no tienen un valor comercial (Escalante *et al.,* 2016).

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

- Determinar el efecto del ecocarbón de la madera en la modificación de algunas características físicas y químicas de un suelo degradado de Pucallpa.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la dosis de ecocarbón que genera modificaciones en algunas características físicas y químicas de suelo.
- Analizar el cambio de algunas características físicas de un suelo degradado de Pucallpa a los 30, 60 y 90 días por efecto de las dosis de ecocarbón.
- Analizar el cambio de algunas características químicas de un suelo degradado de Pucallpa a los 30, 60 y 90 días por efecto de las dosis de ecocarbón.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Las investigaciones sobre los efectos del biocarbón en las propiedades físicas y químicas del suelo se han publicado principalmente en revistas relacionadas con las ciencias ambientales, la energía, los combustibles y la agricultura.

Los principales indicadores físicos de las propiedades del suelo son la porosidad, la densidad aparente, el contenido de humedad y los agregados. La porosidad del suelo es una medida de la estructura del suelo y las condiciones de los poros, que desempeñan papeles importantes en el crecimiento de las raíces de las plantas y la absorción de nutrientes.

Al respecto, Zhu *et al.,* (2025), manifiesta que, debido a su alto pH, contenido de nutrientes, estructura porosa y fuertes propiedades de adsorción, el biocarbón es una enmienda de suelo efectiva y su aplicación representa una estrategia efectiva para adecuar las condiciones ambientales en el suelo, mejorando su fertilidad, promoviendo el crecimiento de las plantas y mitigando la contaminación en el suelo.

Sin embargo, los mecanismos específicos subyacentes a los cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo que son inducidos por la aplicación de biocarbón siguen siendo poco claros.

La tasa de aplicación de biocarbón, el tipo de materia prima y la temperatura de pirólisis son los principales factores que influyen en la eficacia del biocarbón para mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Diferentes materiales base contienen diferentes componentes, lo que resulta en distintas características del biocarbón durante la pirólisis. Esta variación afecta significativamente la capacidad del biocarbón para mejorar el pH del suelo

Olmo (2023), desarrolló su trabajo en Sevilla (España), para evaluar la respuesta de la planta a los cambios propiciados por la aplicación de ecocarbón bajo condiciones controladas (cámara de cultivo e invernadero) como en campo, usando diferentes ecocarbones. Los resultados indicaron que su aplicación al suelo, redujo la densidad aparente y la compactación del suelo, así como también, aumentó la disponibilidad de P, K, Ca, Mg y Cu, y reduciendo la de N. Por otro lado, ejerció un impacto positivo sobre el estado hídrico de las plantas y aumentó la producción de biomasa de la parte aérea, lo que promovió el crecimiento y la producción vegetal.

Por su parte, Rivera (2021), ejecutó un ensayo en Medellín (Colombia), cuyo propósito fue, probar la eficiencia de cinco niveles (0, 3, 6, 9 y 12 t ha^{-1}) de ecocarbón producido de diferentes residuos como escobajo de palma (BRP), fibra de la fruta de palma (BCP), corte de ramas de árboles (BP), pulpa de la fruta de café (BC) y tallos primarios y secundarios de rosa (BTR), en las propiedades físicas, químicas y fito absorción de cadmio (Cd) en diferentes suelos sembrados con lechuga. Los resultados expresan que, BTR, BC y BRP presentan potencial para

uso agropecuario, mientras que BCP y BP tienen acción en aspectos ambientales. De igual modo, se ha mejorado algunas propiedades físicas como densidad aparente, porosidad y retención hídrica. al igual que se mejoró el pH y la CIC del suelo estudiado.

Por su parte, Rodríguez y Aponte (2021), sostienen que, el ecocarbón se ha usado de diferentes maneras para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, así como la retención hídrica, aumentar el potencial de producción de los cultivos y retenedor del CO2 en el suelo.

A su vez, Orozco y De Lira (2019), efectuaron un ensayo denominado Elaboración de biocarbón para el aprovechamiento de residuos proveniente de las podas de Bambú *Guadua angustifolia* en Colima (México), cuyos residuos generan hasta 5 t ha^{-1}, en plantaciones forestales comerciales sin valor. El material fue secado al aire y pirolizado en un horno vertical a 5 diferentes temperaturas 350, 450, 550, 650 y 750 °C, y se evaluó bajo un diseño de BCA con 3 tratamientos con 5 repeticiones. Los resultados indican que, el tratamiento a 550 °C, tuvo mejor rendimiento de carbón elaborado fue con 27%, así como de ceniza (8.7%), 11.5% de material volátil y 72% de carbono fijado.

Asimismo, Iglesias *et al.,* (2020), desarrolló una investigación en la zona de Cuenca (Ecuador), para generar biocarbón a partir de la biomasa residual (ramas y cortezas) del *Eucalyptus globulus* (eucalipto), mediante dos métodos pirolíticos: uno de forma rápida en horno de pirólisis y el otro de forma lenta, realizando el proceso bajo tierra. Los resultados muestran un producto con capacidades de uso para aplicar al suelo, como en la

remediación ambiental.

A su vez, Arguello y Chiguachi (2020), realizó un trabajo en Bogotá (Colombia) para evaluar el efecto de diferentes niveles de ecocarbón y compost en el rendimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*) bajo condiciones de invernadero. Los resultados evidenciaron que, el uso de ecocarbón en una mezcla de 25% de compost y 75% de ecocarbon de cascarilla de arroz determinaron mejores rendimientos en el cultivo de tomate, comparativamente con la fertilización convencional y sin uso de ecocarbón.

Finalmente, Chugñay y Robalino (2019), evaluaron en Pastaza (Ecuador), las modificaciones de las condiciones edáficas en el proceso de restauración de un suelo con ecocarbón, mediante la medición de los parámetros físico-químicos, donde se reportó un incremento en la densidad aparente (0,35 a 0,41 g/cm^3), materia orgánica (19,61 a 23,30%), carbón orgánico (11,37 a 13,51%), acidez intercambiable (1,86 a 2,22 Cmol/kg), Al intercambiable (0,73 a 0,88 Cmol/kg), K (0,14 a 0,16 Cmol/kg), Ca (0,82 a 1,66 Cmol/kg), Mg (0,26 a 0,41 Cmol/kg), mientras que el pH fue incrementado (4,30 a 4,45), en cambio el P disponible disminuyo (6,14 a 2,32 ppm).

2.1.2. Antecedentes nacionales

Un ensayo desarrollado por Ladd *et al.,* (2023), tuvo como objetivo, evaluar los efectos de la aplicación de biochar en diferentes concentraciones con los N-fertilizantes granulares, para demostrar una forma potencialmente rentable para promover su uso extendido por

agricultores. Los tratamientos se constituyeron de la siguiente manera: 1) 0 kg Urea 2) 380,5 kg Urea ha^{-1}, 3) 285 kg Urea + 95 kg biochar ha^{-1}, 4) 190 kg Urea + 190 kg biochar ha^{-1}. Como resultado principal se identificaron efectos considerables del uso de biochar como co-producto con los N-fertilizantes granulares en el cultivo de maíz, obteniendo un aumento en el rendimiento del cultivo y mayor rentabilidad, en comparación con la ausencia de biochar en la fertilización.

Por otro lado, Trujillo (2023), realizó una investigación en la Universidad Agraria La Molina, Lima, para producir y caracterizar el biocarbón proveniente de los residuos orgánicos avícolas (gallinaza y pollinaza). Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre la pollinaza y gallinaza en rendimiento, densidad, pH, humedad, cenizas, N total, P total, Ca, Mg y Fe. Posteriormente, en las pruebas de ensayo, en el índice de germinación, con el ecocarbón de la gallinaza del 3%, la longitud de crecimiento de los tallos de las plántulas fue significativa.

Igualmente, un ensayo conducido por Leveau (2018), tuvo como propósito, evaluar el efecto de la aplicación de ecocarbón en el rendimiento de maíz y el balance de N en suelos entisoles en la zona de San Ramón (Perú). Los tratamientos fueron: control (T1), 7 $t \cdot ha^{-1}$ de estiércol de cerdo (T2), 17.5 $t \cdot ha^{-1}$ de ecocarbón (T3), 23 $t \cdot ha^{-1}$ de ecocarbón con ajuste de pH (T4), y 17.5 $t \cdot ha^{-1}$ de ecocarbón con ajuste de pH y de relación C/N (T5). Los resultados demostraron que, el tratamiento T5 produjo el mayor rendimiento de maíz, con 5.71 $t \cdot ha^{-1}$. De igual forma, los tratamientos T3, T4 y T5 produjeron menores pérdidas de N en comparación con los

tratamientos T1 y T2.

Asimismo, Herrera (2018), en su trabajo llevado a cabo en Tumbes, tuvo como objetivo, estudiar la influencia de diferentes dosis de ecocarbones en la germinación y crecimiento en vivero de semillas de sapote, cuyas semillas fueron colocadas en sustratos a las dosis de 0, 15 y 30% de peso neto de cada uno de los tres tipos de ecocarbones obtenidos y se llegó a determinar que, el tipo de ecocarbón tuvo influencia solo en el tiempo de germinación y la dosis de ecocarbón tuvo influencia en el incremento de masa de parte aérea durante el crecimiento de las plántulas.

2.1.3. Antecedentes locales

Rodríguez (2024), ejecutó un ensayo en una parcela de cacao recién establecida en el distrito de Irazola (Padre Abad), para evaluar el efecto de la aplicación de tres dosis de ecocarbón sobre las propiedades químicas del suelo y el crecimiento del cultivo de cacao. Los tratamientos aplicados fueron 1, 2 y 3 kg de ecocarbon por planta y un testigo control, bajo un diseño de BCA con 3 repeticiones. Los resultados mostraron que, el pH del suelo fue incrementado de 4.89 a 6.55 cuando se aplicó 3 kg de ecocarbon por planta de cacao, mientras que, el porcentaje de materia orgánica y de N total del suelo no tuvieron un incremento significativo. Asimismo, los tenores de P y K se incrementaron de 4.89 a 10 ppm y de 68.3 a 116 ppm, respectivamente, cuando se aplicó 3 kg de ecocarbón por planta de cacao, mientras que, el Al cambiable no presentó variación. Respecto a crecimiento de la planta, la aplicación de 1 y 2 kg de ecocarbón,

registraron los mejores valores de altura, con un incremento final de 15.18 y 15.72 cm, respectivamente. Respecto al diámetro de tallo, con 2 kg de ecocarbon por planta, el promedio mayor fue de 7.16 cm, y aplicando las dosis de 1 y 2 kg de ecocarbon por planta, el número de hojas por planta fue 12.50 y 12.17, para cada uno.

García (2024), desarrolló un trabajo en Pucallpa (Ucayali), para determinar el efecto de la aplicación de tres niveles de ecocarbon en mezcla con la fertilización en el rendimiento del maíz amarillo duro. Los tratamientos fueron las aplicaciones de 1000, 1500 y 2000 kg de biochar con una dosis de 100N-80P-100K por ha, cada uno y un testigo con 100N-80P-100K por ha, bajo un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Los resultados evidenciaron que, conforme se reduce el aporte de N y se incrementa la dosis de ecocarbon en cada formulación combinada, se obtiene mejores resultados en los componentes de rendimiento del maíz Marginal 28-T, especialmente en lo que se refiere al rendimiento de grano por ha (4776 kg).

Por su parte, Lozano *et al*., (2021), evaluó el efecto de cinco dosis (0, 5, 10 y 15 t ha^{-1}) de ecocarbon, a partir de cuescos de semillas de palma aceitera por pirólisis y enriquecido en biol de vaca elaborado por fermentación anaeróbica, para mejorar las propiedades fisicoquímicas de los suelos degradados por sobrepastoreo. Los resultados para algunas variables como pH, materia orgánica, densidad aparente, CIC y N total no resultaron significativos ($p > 0,05$), en cambio el P con T3 y K con T2, si mostraron diferencia significativa ($p < 0,05$) para mejorar las características fisicoquímicas de los suelos degradados.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Dosis de ecocarbón

Zhu *et al*., (2025), señala que, el biocarbón derivado de residuos agrícolas y forestales puede aplicarse a suelos de baja calidad, degradados y ácidos, lo que aumenta significativamente el rendimiento de los cultivos. Su aplicación tiene un potencial considerable en la agricultura y otros sectores. Sin embargo, la forma en que mejora las propiedades fisicoquímicas del suelo depende de varios factores como la textura del suelo, las características del biocarbón y las condiciones ambientales. Por ejemplo, la aplicación excesiva de biocarbón puede provocar una baja densidad aparente y una porosidad excesiva del suelo, lo que dificulta la capacidad de las raíces de las plantas para absorber nutrientes y agua e intensifica la actividad microbiana del suelo, lo que resulta en un consumo excesivo de materia orgánica.

Por lo tanto, en aplicaciones específicas, señala Zhu *et al*., (2025), que, debemos explorar las interacciones entre los diferentes tipos de suelo y la aplicación de biocarbón, centrándonos en la influencia de la textura del suelo en la eficacia de las enmiendas de biocarbón. También deben evaluarse los efectos de la aplicación de biocarbón en diversas condiciones climáticas y experimentales, e identificar las dosis óptimas de aplicación para evitar problemas de baja densidad aparente y porosidad excesiva por uso excesivo, asegurando así un equilibrio entre la actividad microbiana y la materia orgánica del suelo. Para lograr estos objetivos, se requiere más investigación.

En suelos degradados o en proceso de degradación, el ecocarbón puede mantener altos niveles de materia orgánica y de nutrientes aprovechables para las plantas; pero, no solamente incrementan el contenido de nutrientes, sino también la retención de éstos, lo cual es especialmente importante en los suelos, que tienen baja capacidad de retención iónica (Ruiz, 2019).

Escalante *et al*., (2016), señala que, por ser una forma recalcitrante de carbono, actúa como reservorio de este elemento, retardando su retorno a la atmósfera como CO_2, situación que favorece a mitigar el cambio climático, añadiendo que, un beneficio adicional es que la materia prima para su producción proviene de residuos orgánicos domésticos o agrícolas, que frecuentemente causan problemas de contaminación ambiental.

2.2.2. Propiedades físicas y químicas del ecocarbón

Propiedades físicas

El ecocarbón es un sólido carbonoso, de color negro y está constituido por partículas de varios tamaños, que dependen de la fuente y tamaño de la materia prima (Lehmann, 2007) y, comparativamente con otros tipos de materia orgánica, es capaz de adsorber fuertemente aniones fosfato (Liang *et al*., 2006).

Propiedades químicas

El ecocarbón incorporado al suelo, permite que sus partículas puedan oxidarse e interactuar con los constituyentes del suelo. De esta

manera los grupos funcionales generan mayor aumento de la CIC (Mc Laughlin *et al.,* 2009).

Un incremento en la CIC del ecocarbon se debe a grupos funcionales oxidados en su superficie, a través de una interacción microbiana (Shenbagavalli y Mahimairaja, 2012).

Investigaciones relacionadas al tema detallan que la medición de la CIC de un ecocarbón determina su nivel actual pero no indica la capacidad adicional que puede llegar a tener en los siguientes años (Iglesias *et al.,* 2020).

2.2.3. Efecto del ecocarbón en el suelo

El grado de impacto del biocarbón en las propiedades fisicoquímicas del suelo varía según la fuente, el tipo, el tamaño, las características inherentes del suelo, el sistema de cultivo, etc. Además, el biocarbón tiene un potencial significativo en la remediación del suelo y el agua, especialmente a través de su adsorción única y sus propiedades químicas capaces de capturar e inmovilizar contaminantes orgánicos y emergentes peligrosos como los microplásticos (Muhamed *et al*., 2024).

Además, el biocarbón se ha convertido en un material estratégico clave y rentable para abordar problemas globales como la mitigación del cambio climático y la reducción de las emisiones netas de gases de efecto invernadero para minimizar el potencial de calentamiento global. Sin embargo, aún existe una brecha de conocimiento en cuanto a la comprensión de la persistencia a largo plazo del biocarbón en los agroecosistemas, la tasa óptima de aplicación del biocarbón para la

diversidad de condiciones ambientales del suelo, el cultivo y el biocarbón, la interacción del biocarbón con las reservas inherentes de carbono del suelo, los mecanismos específicos del efecto del biocarbón sobre las propiedades bióticas del suelo, la cuantificación del secuestro de carbono, las emisiones de gases de efecto invernadero, la sinergia o los posibles efectos antagónicos con otras fuentes de carbono como el compost, el estiércol, los residuos, etc., su modificación para aplicaciones ambientales y los riesgos ambientales y humanos asociados a largo plazo (Muhammad *et al*., 2014).

La incorporación de ecocarbón al suelo afecta algunas propiedades físicas como textura, estructura, distribución del tamaño de los poros del suelo, área superficial total, y densidad aparente, con repercusión en la aireación, capacidad de retención de humedad, crecimiento de las plantas y facilidad de laboreo del suelo (Downie *et al.,* 2009).

El ecocarbón incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y, por lo tanto, permite la retención de NH_4^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, debido a su elevada superficie y carga especifica, los que en ocasiones no son desarrollados en los estudios sobre ecocarbon (Downie *et al.,* 2009)

El ecocarbón proporciona gran cantidad de nutrientes al suelo, beneficiando a los distintos cultivos que son sembrados en aquel recurso natural. Además, la producción de los cultivos tratados con ecocarbón posee un mayor rendimiento de cosecha, en comparación con otros cultivos de la misma especie de planta que son tratados con diferentes enmiendas como son el compost y/o humus.

Estudios recientes han demostrado que el ecocarbón es usado en la remediación ambiental por medio de su capacidad para reducir la lixiviación y la escorrentía superficial, bloquear hidrocarburos aromáticos policíclicos, así como absorber pesticidas y metales pesados (Iglesias *et al*., 2020).

Por otro lado, se ha demostrado que, el ecocarbón funciona como portador de microorganismos, incrementando la población de hongos micorrízicos y los niveles de infección por *Rhizobium* (Amonette, 2009).

Al aplicar ecocarbón al suelo, aumenta la permeabilidad al agua y se minimiza la escorrentía y los costos que implican el sistema de riego (De Gryze *et al*., 2010). Las mejoras del suelo incluyen también el aumento en la retención de humedad, y la permeabilidad del aire (Mc Laughlin *et al*., 2009).

2.3. Definición de términos básicos

- **El ecocarbón:** Es un producto elaborado por combustión de materia orgánica bajo condiciones de baja cantidad de oxígeno llamada pirolisis es objeto de mucha atención desde los últimos años. Sus propiedades, tanto a nivel de mitigación del cambio climático por la inmovilización del carbono como en el mejoramiento del suelo, han sido motivo de numerosas investigaciones (Leveau, 2018).

  En suelos degradados o en proceso de degradación, el biocarbón puede incrementar el contenido de materia orgánica y de nutrientes aprovechables para las plantas; lo cual es especialmente importante en los suelos con baja capacidad de retención iónica (Ruiz, 2019).

- **Aplicación del ecocarbón:** Escalante *et al*., (2016), señala el biocarbón al suelo, mejora sus propiedades físicas, químicas y biológicas, incrementando la productividad de los cultivos. El biocarbón actúa como reservorio de larga duración de C, retardando su retorno a la atmósfera como CO_2, situación que contribuye a mitigar el cambio climático. Un beneficio adicional es que la materia prima utilizada para su producción está constituida por residuos orgánicos, los cuales causan problemas de contaminación ambiental.

- **Suelo degradado:** Es un proceso degenerativo que minimiza la capacidad actual o futura de los suelos para desempeñar sus funciones características y se distinguen dos tipos de procesos de degradación del suelo, los que producen el traslado de las partículas del suelo como la erosión por el agua y el viento y los fenómenos que originan una degradación in situ del suelo (Callo, 2011).

- **Erosión del suelo:** La erosión del suelo es un proceso en el que intervienen dos procesos importantes: la ruptura de los agregados y el traslado de las partículas finas resultantes a otros lugares. El riesgo de erosión hídrica es máximo en periodos de lluvias intensas en que el suelo se encuentra saturado de agua y con escasa cubierta vegetal (Gómez *et al.,* 2008).

  Los impactos generados por este fenómeno son diversos y las consecuencias económicas son difíciles de estimar, por lo cual resulta difícil de estimar la cantidad de abonos y fertilizantes necesarios para reponer las

pérdidas de nutrientes y materia orgánica perdidos por la erosión (Gómez *et al.,* 2008).

- **Propiedades físicas del suelo:** Las propiedades físicas del suelo vienen a ser las características que definen la composición sólida, liquida y gaseosa del suelo, y entre ellas se menciona a la textura, la estructura, el color, la temperatura del suelo, la densidad aparente, la porosidad, la humedad y el contenido de materia orgánica (Bazán, 2019).

- **Propiedades químicas del suelo:** Son las propiedades que establecen la fertilidad química del suelo, en base a la concentración de nutrientes que pueden absorber las partículas de arcilla y de materia orgánica, es decir los coloides del suelo y entre las principales propiedades se mención al pH del suelo y a la Capacidad de Intercambio catiónico (Bazán, 2019).

- **Importancia del suelo:** Azabache *et al*., (2003), señala que el suelo es el lugar donde naturalmente crecen las plantas y vegetales consumidas por los eslabones secundarios de la cadena o los animales herbívoros. Además, el suelo no solo es importante para el ser humano en lo que respecta a la producción alimenticia, sino que también tiene que ver con la posibilidad de establecer viviendas o construcciones más complejas.

- **Fertilidad de suelos:** La fertilidad del suelo es una cualidad que resulta de la interacción entre las propiedades físicas, químicas y

biológicas del mismo y que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Fassbender y Bornemisza, 1989).

Al mismo tiempo, Zavaleta *et al.,* (1992), indica que la fertilidad es la cualidad con la que cuenta el suelo para el abastecimiento de nutrientes en cantidades apropiadas y en un balance adecuado que permita el desarrollo de la vegetación, así como la relación adecuada de los sólidos, aire y agua para su crecimiento.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Ubicación

El ensayo se desarrolló en el Centro de Producción de la Universidad Nacional de Ucayali, ubicado en el ámbito de influencia del distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, departamento Ucayali.

Geográficamente, se encuentra localizada a 157 msnm, en las coordenadas 8°23´00” Latitud Sur y 74°33´00” Longitud Oeste.

Figura 1

Mapa de ubicación – Microlocalización del distrito de Callería

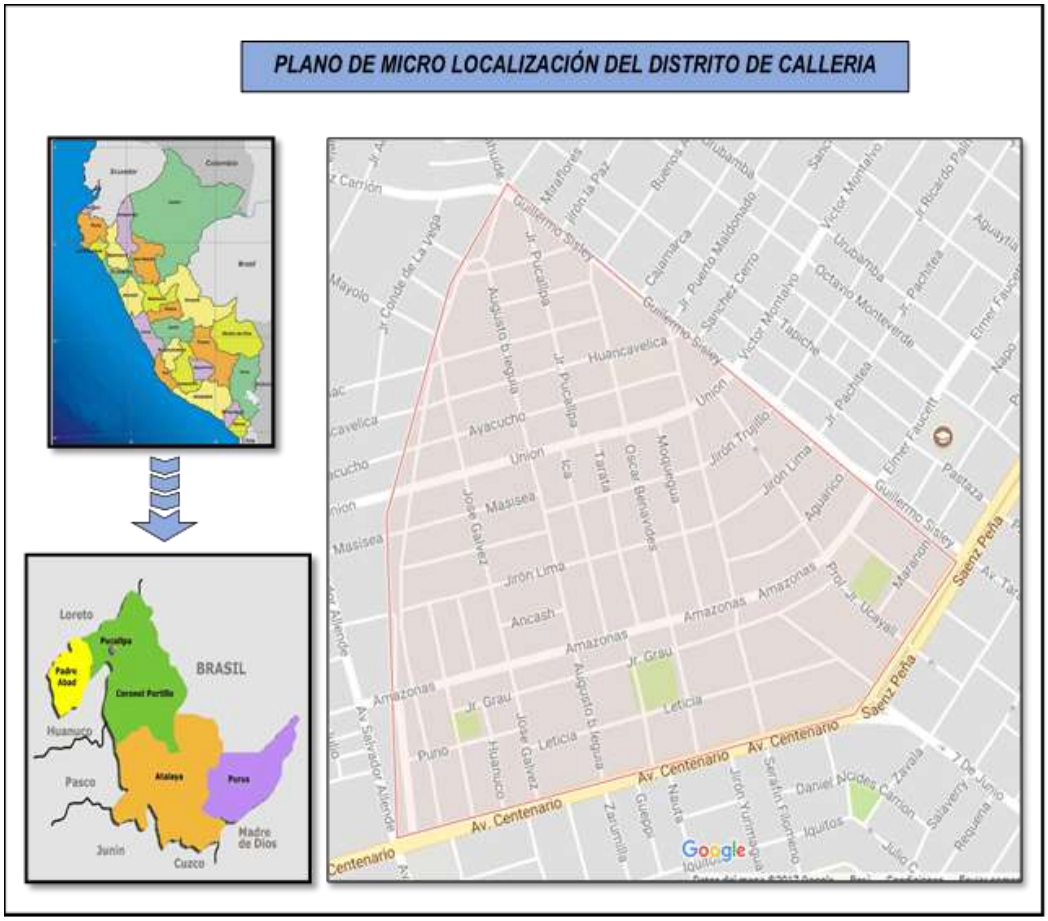


Figura 2

Ubicación de la ejecución de la tesis



3.2. Características del lugar

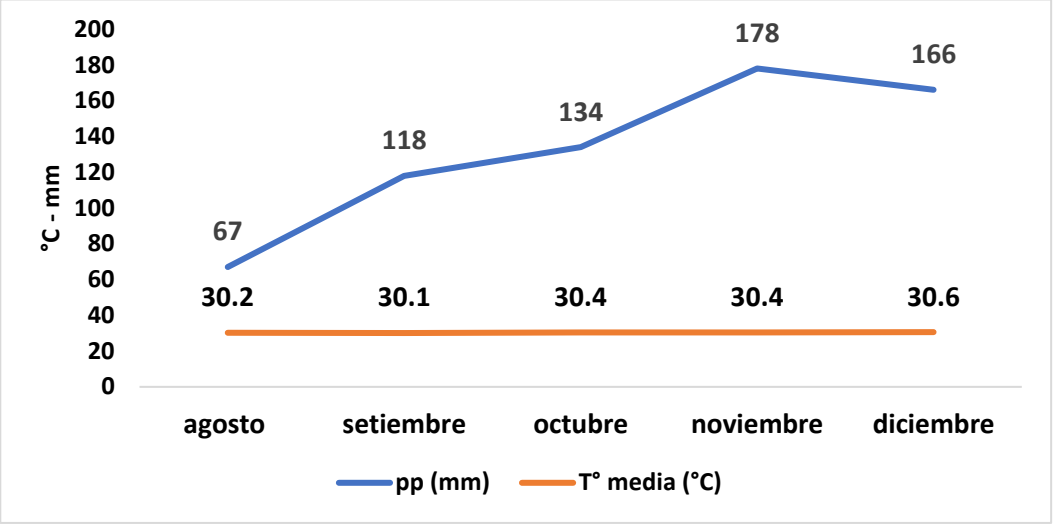
El área experimental presentó un suelo compactado debido al constante pisoteo de los animales del Centro de Producción de la Universidad Nacional de Ucayali, lo que afectó el hábitat de los microorganismos del suelo y, en consecuencia, la productividad de la pastura.

3.2.1. Clima

El clima del lugar es tropical húmedo (selva baja) con una altura de 149 msnm. Mediante la información dada por el Área Meteorológica de la Universidad Nacional de Ucayali, se reporta que, la temperatura media anual es de 30, 34 ºC, mientras que, la precipitación pluvial anual es de 663 mm.

Figura 3

Datos meteorológicos del área experimental



3.2.2. Accesibilidad

Para acceder a la zona de estudio se toma la Av. Tupac Amaru, luego se ingresa a las instalaciones de la Universidad Nacional de Ucayali por la margen izquierda, siguiendo un tramo afirmado cerca de la Estación Meteorológica de la Universidad, aproximadamente a 2 km al interior, en la margen izquierda.

3.3. Metodología de la investigación

La investigación fue de tipo experimental, aplicativa, comparativa y observacional, ya que se busca analizar el efecto del ecocarbon en las propiedades físicas y químicas del suelo. El diseño estadístico utilizado es bloques completamente al azar (DBCA) con 4 tratamiento y 4 repeticiones por cada uno de los tratamientos, lo que hicieron un total de 16 unidades experimentales. Es de método experimental con la finalidad de verificar de

lo planteado en la hipótesis, mediante protocolos previamente establecidos, por el lugar donde se realiza la investigación es documental, de campo y laboratorio.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población estuvo conformada por la totalidad del ecocarbón producido en la zona de la carretera Federico Basadre km 10, margen derecho, en el distrito de Callería.

3.4.2. Muestra

La muestra seleccionada fue de 24 kg de ecocarbón, cantidad que se distribuyó equitativamente entre las 16 unidades experimentales establecidas.

3.5. Diseño experimental

Se realizó una investigación tipo experimental, con un diseño estadístico de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, haciendo un total de 16 unidades experimentales.

Tabla 1

Características de los tratamientos aplicados

Tratamiento	Cantidad de ecocarbón (kg por ha)
T1 = Testigo sin aplicación	0
T2 = 0.25 kg ecocarbón m^2	2500
T3 = 0.50 kg ecocarbón m^2	5000
T4 = 0.75 kg ecocarbón m^2	7500

3.5.1. Diseño estadístico

El diseño utilizado fue en Bloques completos al Azar DBCA con 4 tratamientos y 4 repeticiones, lo que hizo un total de 16 unidades experimentales. Para la prueba de comparación entre tratamientos, se empleó el análisis de varianza ANOVA y la prueba de Tukey al 0.05 nivel de significancia.

Tabla 2

Análisis de varianza

Fuentes de variabilidad	Grados de libertad
Repeticiones	4 – 1 = 3
Tratamientos	4 – 1 = 3
Error experimental	(4 - 1) (4 – 1) = 9
Total	(4) (4) – 1 = 15

Modelo matemático:

El modelo matemático del diseño se describe de la siguiente forma:

$$Yijk = U + Ti + Bj + Eijk$$

Donde:

Yijk = cualquier observación de las variables

U = media general

Ti = efecto de i-esimo tratamiento

Bj = efecto de la j-esima repetición

Eijk = efecto del error experimental

Una vez efectuado el análisis de varianza para cada variable dependiente, se realizó la prueba de comparaciones de Tukey ($P<0.05$), cuando hubo diferencia estadística entre tratamientos.

3.5.2. Diseño y distribución experimental

Dimensiones del área experimental

Del área total

- Largo de parcela: 13.0 m
- Ancho de parcela: 13.0 m
- Área de parcela: 269.0 m^2

De las repeticiones

- Largo de la repetición: 2.0 m
- Ancho de la repetición: 13.0 m
- Área de la repetición:126.0 m^2
- Separación de calle: 1 m

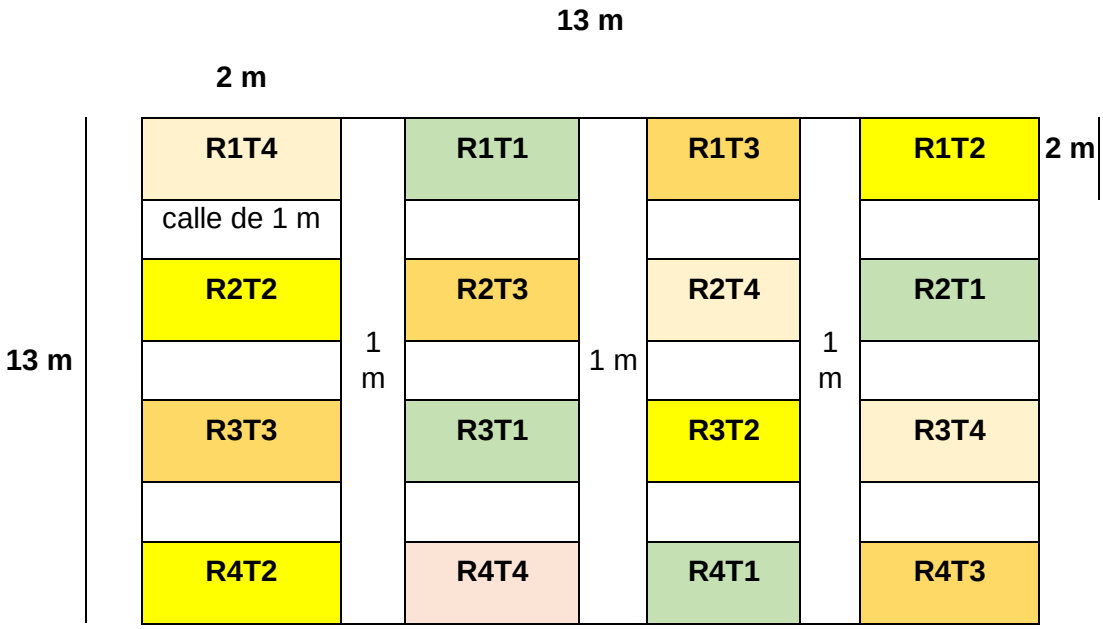
De la unidad experimental

- Largo de unidad experimental: 2.0 m
- Ancho de unidad experimental; 2.0 m
- Área de unidad experimental: 4.0 m^2
- Separación entre calles: 1 m

3.5.3. Distribución de las unidades experimentales

Figura 4

Croquis experimental



3.6. Variables de estudio

3.6.1. Variable independiente (X)

- Dosis de ecocarbón de residuos de madera.

3.6.2. Variable dependiente (Y)

- Cambio de algunas propiedades físicas y químicas de un suelo degradado de Pucallpa.

3.6.3. Operacionalización de las variables

- Se describe a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 3

Operacionalización de las variables en estudio

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
VI Dosis de ecocarbon de la madera	El ecocarbón es material rico en C, obtenido a partir de residuos orgánicos mediante la descomposición térmica a temperaturas relativamente altas (500 a 700 ˚C) y en una atmósfera ausente o pobre en oxígeno.	Medido a través de la aplicación de diferentes dosis de ecocarbón por unidad experimental	Dosis de la aplicación del ecocarbon:	• T1 = 0.00 kg por m^2 • T2 = 0,25 kg por m^2 • T3 = 0.50 kg por m^2 • T4 = 0.75 kg por m^2
VD Cambio de algunas propiedades físicas y químicas de un suelo degradado de Pucallpa	Son algunas características físicas y químicas del suelo que son influencias por la aplicación de diferentes dosis de ecocarbón.	Algunas propiedades físicas y químicas del suelo degradado fueron analizadas mediante pruebas de laboratorio y en el área de estudio	Cambio de algunas propiedades físicas a los 30, 60 y 90 días Cambio de algunas propiedades químicas a los 30, 60 y 90 días	• Textura • Materia orgánica • pH • Nitrógeno total • Fosforo disponible • Potasio cambiable • Calcio cambiable • Magnesio cambiable • CIC • PAC

Operacionalización de las variables dependientes

Las variables dependientes fueron evaluadas en tres momentos: a los 30, 60 y 90 días después de la aplicación de las diferentes dosis de ecocarbón. La metodología aplicada en cada caso se detalla a continuación:

Propiedades físicas del suelo

Para cada unidad experimental se extrajo una muestra de 200 g de suelo a una profundidad de 20 cm. Las muestras fueron secadas al ambiente, tamizadas con malla de 2 mm, debidamente rotuladas y enviadas al Laboratorio de Suelos del INIA Pucallpa para su análisis físico, considerando las siguientes variables:

- **Textura del suelo:** Se determinó mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos, de acuerdo con la *Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000* (Segunda edición, 31 de diciembre de 2002), ítem 7.1.7. AS-07.

Propiedades químicas del suelo

Con la misma muestra de suelo utilizada para el análisis físico se determinaron las propiedades químicas, siguiendo los procedimientos descritos a continuación:

- **Materia orgánica:** La determinación se realizó conforme a la *NOM-021-RECNAT-2000*, ítem 7.1.7. AS-07, mediante el método de Walkley y Black. Este procedimiento consiste en pesar entre 0.25 y

0.50 g de suelo tamizado por malla Nº 60, adicionando 5 ml de dicromato de potasio y 7.5 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se prepararon cuatro blancos con solo reactivos y se dejó enfriar la mezcla a temperatura ambiente. Posteriormente, se añadieron de tres a cuatro gotas de indicador y se tituló con sulfato ferroso amoniacal hasta el cambio de color, utilizando luz blanca de fondo y agitador magnético (Bazán, 2019).

- **pH del suelo:** Se determinó siguiendo la metodología *EPA 9045D, Rev. 4 (2004)*. Para ello, se mezclaron 10 ml de muestra con 10 ml de agua desionizada, agitándose a 200 rpm durante 10 minutos. Tras reposar 20 minutos, se volvió a agitar por 2 minutos adicionales. Finalmente, se midió el pH con un potenciómetro previamente calibrado (Bazán, 2019).

- **Nitrógeno total (N):** Se analizó según la *NOM-021-RECNAT-2000* (Segunda edición, 2002), ítem 7.1.7. AS-07, mediante el método de Walkley y Black.

- **Fósforo disponible (P):** Se determinó empleando el método de Olsen modificado, de acuerdo con el *Manual de Procedimientos para Análisis de Suelos y Aguas con Fines de Riego* (Lima, Perú, 2017).

- **Potasio cambiable (K):** Se midió conforme al *Manual de Procedimientos para Análisis de Suelos y Aguas con Fines de Riego* (Lima, Perú, 2017).

- **Calcio cambiable (Ca):** Se evaluó de acuerdo con los lineamientos del *Manual de Procedimientos para Análisis de Suelos y Aguas con Fines de Riego* (Lima, Perú, 2017).

- **Magnesio cambiable (Mg):** Se analizó aplicando el mismo manual técnico (Lima, Perú, 2017).

- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC):** Se determinó siguiendo los métodos descritos en el *Manual de Procedimientos para Análisis de Suelos y Aguas con Fines de Riego* (Lima, Perú, 2017).

- **Porcentaje de acidez cambiable (PAC):** Se evaluó aplicando los procedimientos establecidos en el *Manual de Procedimientos para Análisis de Suelos y Aguas con Fines de Riego* (Lima, Perú, 2017).

3.7. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.7.1. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas utilizadas fueron la extracción de muestras, el mantenimiento del área experimental y el análisis de laboratorio, las cuales permitieron obtener información confiable de las condiciones del suelo en cada etapa del experimento.

3.7.2. Materiales, insumos, equipos, indumentaria e instrumentos de recolección de datos

En campo se emplearon machetes, palas, rastrillos, carretillas, mantas de polipropileno, bolsas plásticas herméticas, cordeles, rafias de colores, letreros de identificación, libretas de campo, lápices y reglas. En laboratorio se usaron papel toalla, cernidores de 2 mm, vasos de precipitado, matraces, probetas y pipetas.

Asimismo, se utilizaron equipos como desbrozadora, balanza analítica, cámara fotográfica, laptop, calculadora científica e impresora. El material vegetal correspondió al ecocarbón obtenido de residuos de madera.

3.8. Procedimientos de la recolección de datos

3.8.1. Trabajo en gabinete

La recolección de datos se planificó en gabinete. Primero se identificó y estableció el lugar, la ubicación para realizar la investigación, elaboración y distribución de nuestra parcela experimental de acuerdo al croquis experimental.

Al finalizar las muestras fueron recolectadas y enviadas al Laboratorio de Suelos, Aguas y Tejido Foliar del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA-Pucallpa); acreditado con la norma NTP-ISO/IEC 17025:2017, para su respectivo análisis físicos y químicos.

Los resultados obtenidos fueron procesados en Microsoft Excel y mediante el análisis de varianza y la prueba de comparaciones múltiples

de Tukey (0.05).

3.8.2. Trabajo de campo

Obtención de ecocarbón

Este material se adquirió por 50 kg de las plantas carboneras de la carretea Federico Basadre km 10 – margen derecho, a 3 kilómetros adentro; distrito de Callería, el cual es producido como excedente del aserrío de madera de los aserraderos ubicados en dicho distrito.

Figura 5

Referencia de acceso (Grifo SALMU)



En la figura 5, se observa el punto de referencia para el ingreso hacia las carboneras, específicamente una estación de servicio identificada con el nombre "SALMU". Este lugar sirve como ubicación estratégica para orientar el acceso a las instalaciones.

Figura 6

Imagen satelital de ingreso hacia la carbonera



Figura 7

Perímetro de la carbonera



Las Figuras 6 y 7 muestran la ubicación y características físicas del área de estudio. En la Figura 6 se presenta una imagen satelital donde se identifica el punto de referencia para el ingreso hacia la carbonera, siendo este el grifo SALMU, ubicado sobre la Carretera Federico Basadre, km 10, en el distrito de Manantay. Esta referencia facilita la localización exacta del sitio de intervención.

En la Figura 7, se detalla el perímetro de la carbonera, el cual fue delimitado a partir de mediciones satelitales, obteniendo un total de 553.38 metros lineales, distribuidos en tramos de diferentes longitudes como se indica en la imagen. Esta delimitación fue esencial para calcular el área de trabajo y planificar las actividades de muestreo.

Figura 8

Colecta de ecocarbón del aserradero de Manantay



En la Figura 8, se observa el proceso de colecta del ecocarbón, procedente del aserradero ubicado en Manantay. Esta actividad consistió en la recolección del material generado por la combustión de residuos forestales. Posteriormente, dicho material fue llevado al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, donde se realizó el secado, molienda y tamizado con una malla de 2 mm, con el fin de obtener un producto homogéneo. Se separaron 200 g de muestra para su respectivo análisis de caracterización en el INIA Pucallpa.

Figura 9

Ecocarbón listo para su traslado a la Universidad Nacional de Ucayali



Finalmente, en la Figura 9, se muestra el ecocarbón procesado y listo para su traslado hacia las instalaciones de la Universidad Nacional de Ucayali, donde se llevó a cabo su análisis y evaluación técnica.

Colecta de muestras para análisis de suelo

Dentro del área experimental, se realizó la extracción de una muestra de suelo de 200 gramos, utilizando el método de muestreo en zigzag, a una profundidad de 20 cm. Posteriormente, la muestra fue secada al aire y tamizada para eliminar impurezas y obtener una textura homogénea. Finalmente, el material procesado fue enviado al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), sede Pucallpa, para su correspondiente análisis de caracterización físico-química.

Figura 9

Muestras de suelo por tratamiento para análisis de caracterización



Figura 11

Colecta de muestras de suelo por unidad experimental



Roturación y nivelación del suelo experimental

Se efectuó inmediatamente después de extraer la muestra de suelo, con ayuda de herramientas y de manera uniforme se procedió a nivelar cada unidad experimental, las cuales fueron construidas en camas elevadas a 15 cm de altura sobre el nivel del suelo.

Figura 12

Colocación del letrero de identificación del trabajo de investigación



Figura 13

Alineamiento del ensayo por cada unidad experimental



Determinación del área experimental

En base al croquis experimental, se procedió a ubicar los tratamientos y repeticiones con sus correspondientes dimensiones, tomando en cuenta que, cada unidad experimental tuvo 2 m de largo por 2 m de ancho, con un área de 4 m^2.

Figura 14

Distribución de las unidades experimentales



Aplicación de ecocarbón

Una vez obtenido el ecocarbón finamente molido y tamizado, se aplicó de acuerdo a cada dosis a probar, directamente al suelo por voleo, tratando de uniformizar que el ecocarbón cubra la mayor parte de la superficie del suelo.

Figura 15

Aplicación de las dosis de ecocarbón por unidad experimental



Para el tratamiento testigo (T1), no se aplicó ecocarbón, mientras que para los siguientes tratamientos T2, se aplicó 1 kg por unidad experimental, en el caso del tratamiento T3, se aplicó 2 kg por unidad experimental y para el tratamiento T4, se aplicó 3 kg de ecocarbón por unidad experimental. Luego de incorporó el producto con ayuda de un rastrillo en los primeros 10 cm del suelo. Cada unidad experimental tuvo un área de 4 m^2.

Figura 16

Aplicación de las dosis de ecocarbón por cada tratamiento



Colocación de baldes para colecta de muestras de suelo

Inmediatamente después de la aplicación de las diferentes dosis de ecocarbon, se colocó en el centro de cada unidad experimental, un balde de plástico sin fondo, de 0.70 m de diámetro, con la finalidad de servir para colectar las muestras de suelo por cada evaluación, es decir a los 30, 60 y 90 días después de la aplicación. El objetivo fue minimizar el riesgo de erosión y escorrentía del suelo en cada unidad experimental. En total se colocaron 16 baldes de igual medida.

Figura 17

Adecuación de los baldes para muestreo de suelo



Figura 18

Colocación de los baldes para el muestreo de suelos



Evaluación de las variables dependientes

En este caso, se analizaron algunas propiedades físicas y químicas del suelo, en tres etapas, a los 30, 60 y 90 días después de la aplicación de las diferentes dosis de ecocarbón. Para ello, se extrajeron con ayuda de una pala pequeña, sendas muestras de suelo de 200 g de peso de los primeros 20 cm de profundidad, según cada tratamiento y repetición.

Figura 19

Molienda de las muestras de suelo y preparación de extractantes para determinación de P disponible en el ensayo



Figura 20

Preparación de muestras de suelo para análisis de caracterización



Análisis de caracterización de muestras

Las diferentes muestras de suelo debidamente identificadas por cada tratamiento se secaron por separado al ambiente, luego se molieron y etiquetaron y posteriormente fueron enviadas al Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliares LABSAF INIA Pucallpa, para su determinación por sus propiedades físicas y químicas.

Figura 21

Pesado de muestras para análisis de caracterización



Figura 22

Preparación de extractantes para determinación de P disponible en el ensayo

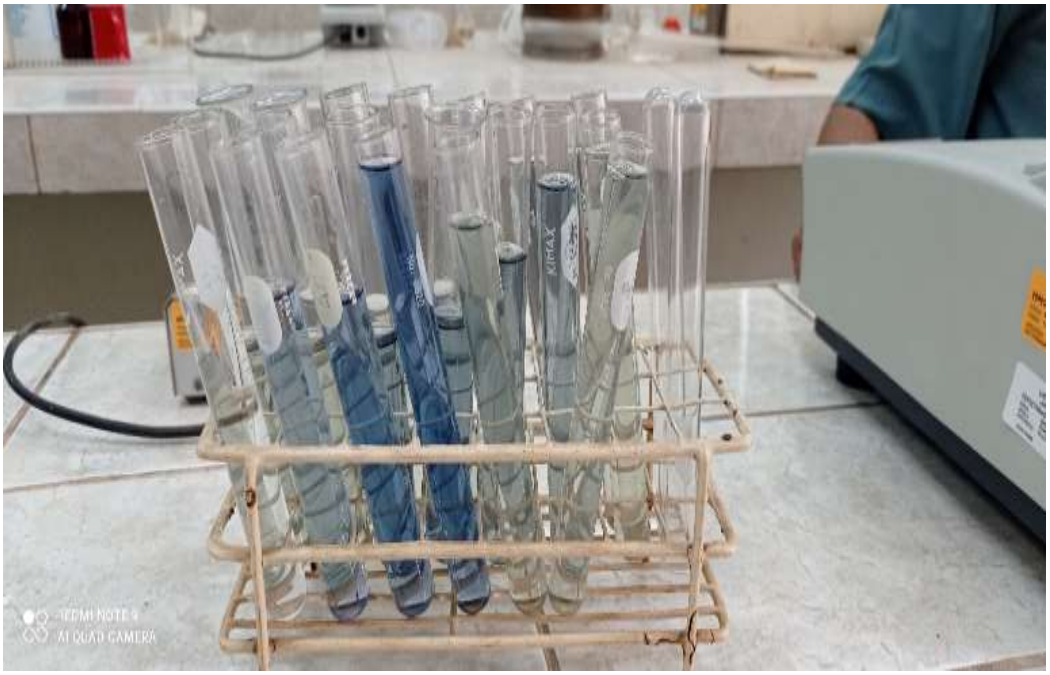


Figura 23

Preparación de muestras de suelo para análisis de caracterización



Procesamiento de resultados

Los resultados obtenidos en laboratorio para cada variable dependiente, fueron tabulados primero mediante tablas Excel y luego se procesaron mediante el Diseño de bloques completos al azar DBCA con 4 tratamientos y 4 repeticiones y en caso de presentarse diferencias entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al 0.05 nivel de significación. Este procesamiento se hizo con ayuda del programa estadístico SAS versión 8.0, así como se elaboró las figuras y tablas de resultados por cada variable evaluada.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados generales

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en función del objetivo general de la investigación. Se analizan los cambios ocurridos en algunas propiedades físicas y químicas del suelo como consecuencia de la aplicación de diferentes dosis de ecocarbón, evaluadas a los 30, 60 y 90 días posteriores a su incorporación.

Dentro de las propiedades químicas evaluadas se incluyen: pH, nitrógeno total (N), fósforo disponible (P), así como los cationes intercambiables: potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y aluminio (Al). Además, se analizó la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el porcentaje de acidez cambiable. Estos parámetros permitieron determinar el efecto del ecocarbón sobre la fertilidad del suelo en el tiempo.

Tabla 4

Resultados generales del ensayo

Variables evaluadas	Inicio	Testigo			0.25 kg/ m²			0.50 kg/ m²			0.75 kg/m²		
		30 dda	60 dda	90 dda	30 dda	60 dda	90 dda	30 dda	60 dda	90 dda	30 dda	60 dda	90 dda
pH	5.1	5.5	5.6	5.6	5.5	6.6	6.2	5.6	6.8	6.4	5.6	6.9	6.6
Mat. Orgánica (%)	1.2	1.39	1.62	1.82	1.65	2.28	3.52	1.95	2.15	4	1.95	2.70	4.18
N total (%)	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.11	0.17	0.10	0.10	0.20	0.13	0.13	0.21
P (mg/kg)	6.38	8.72	8.72	8.72	19.57	25.13	36.01	27.32	35.27	33.44	36.95	37.20	36.95
K (meq/100 g)	0.10	0.31	0.31	0.31	0.27	0.44	0.58	0.28	0.60	0.60	0.36	0.74	0.76
Ca (meq/100 g)	3.13	3.31	3.03	3.03	3.77	4.09	5.44	3.61	3.85	6.33	3.72	4.22	7.35
Mg (meq/100 g)	1.58	1.63	1.63	1.63	1.61	2.17	2.35	1.48	2.09	2.70	1.82	2.28	3.15
Al (meq/100 g)	0.81	0.65	0.65	0.65	0.53	0.35	0.32	0.45	0.37	0.32	0.42	0.37	0.30
CICe (meq/100 g)	5.65	5.75	5.75	5.75	6.59	6.71	9.78	6.60	6.74	9.88	6.56	6.74	10.68
PSB (%)	95.72	95.78	96.62	94.79	94.67	94.86	95.45	94.10	97.47	95.46	94.79	96.42	95.55
PAC (%)	5.65	5.33	5.33	5.33	5.52	4.14	4.79	6.13	5.78	4.59	5.39	3.59	4.46

4.2. Efecto de las dosis de ecocarbón en las propiedades físicas del suelo

En este capítulo, se analiza el efecto de las diferentes dosis de ecocarbón aplicadas por cada una de las variables físicas del suelo experimental que fueron evaluadas a los 30, 60 y 90 días después de su aplicación.

4.2.1. Textura del suelo

Previo a la aplicación del ensayo, el suelo presentó una textura franca, la cual fue manteniéndose con dicha calificación durante todo el proceso experimental, a los 30, 60 y 90 días después de la aplicación de la enmienda.

Tabla 5

Resultados de la textura del suelo por tratamiento y evaluación

Tratamiento	30 dda	60 dda	90 dda
	Clase textural (según USDA)		
T1 = Testigo	Fr	Fr	Fr
T2 = 0.25 kg m^2	Fr	Fr	Fr
T3 = 0.50 kg m^2	Fr	Fr	Fr
T4 = 0.75 kg m^2	Fr	Fr	Fr

Cabe indicar que, la textura franca del suelo se presenta por las mayores concentraciones de arena y limo, más que de arcilla, en valores que fueron entre 35 al 40% para ambas partículas, mientras que el porcentaje de arcilla no sobrepasó el 20% del contenido textural.

4.2.2. Contenido de materia orgánica

La materia orgánica del suelo previo al ensayo, presentó un promedio de 1.20%, considerado como un nivel bajo.

Posteriormente, fue evaluada en tres oportunidades, la primera, a los 30 días después de la aplicación de las dosis de ecocarbón y luego, a los 60 y 90 días posteriores a la aplicación.

En la primera evaluación, a pesar que subió ligeramente el nivel en todos los tratamientos, no se observaron diferencias significativas (P>0.05) para el contenido de materia orgánica entre las dosis probadas, correspondiendo promedios de 1.39, 1.65, 1.95 y 1.95% de materia orgánica para los tratamientos testigo y las dosis de 0.25, 0.50 y 0.75 kg m^2 de ecocarbón.

Tabla 6

Materia orgánica por tratamiento y por evaluación

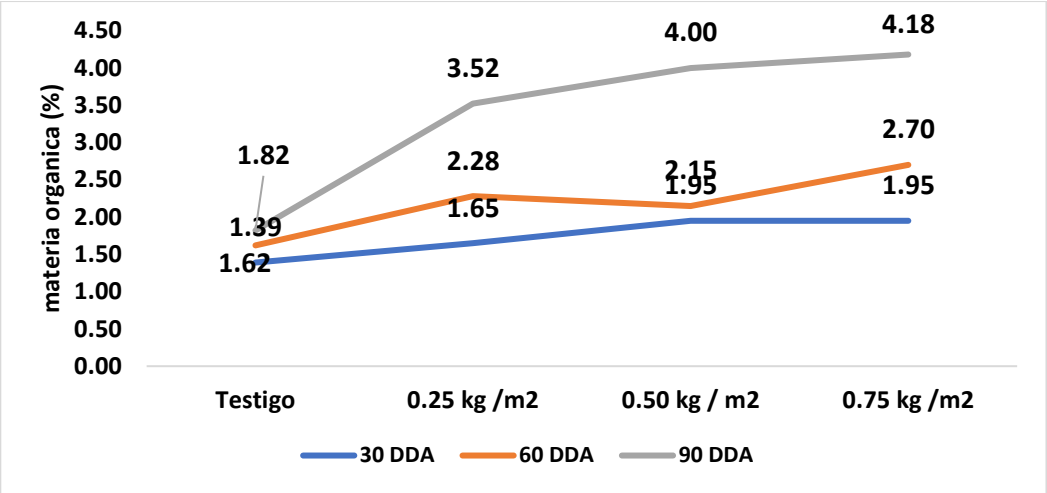
Tratamiento	30 dda	60 dda	90 dda
		Materia orgánica (%)	
T1 = Testigo	1.39 a	1.62 c	1.82 b
T2 = 0.25 kg m^2	1.65 a	2.28 b	3.52 a
T3 = 0.50 kg m^2	1.95 a	2.15 b	4.00 a
T4 = 0.75 kg m^2	1.95 a	2.70 a	4.18 a

(*) Letras iguales en la columna significan que no hay diferencias entre tratamientos.

Sin embargo, a los 60 días después, ya se muestran significativos incrementos de materia orgánica del suelo, respecto a la evaluación anterior, destacando la aplicación de 0.75 kg m^2 de ecocarbon, con 2.70%, en cambio, las demás dosis aplicadas no muestran diferencias significativas entre ellas, con promedios de 2.28 y 2.15% de materia orgánica, para 0.25 y 0.50 kg m^2, mientras el testigo sin aplicación registró sólo 1.62% de materia orgánica.

Figura 24

Contenido de materia orgánica por tratamiento y evaluación



A los 90 días después de la aplicación, destacan las dosis de 0.75, 0.50 y 0.25 kg m^2 de ecocarbón, con 4.18, 4.00 y 3.52% de materia orgánica, cada uno, mientras que el tratamiento testigo registró el menor valor con 1.82%.

Es pertinente afirmar que, los efectos físicos y químicos están interconectados. La materia orgánica junto con la porosidad del suelo y la capacidad de retención de humedad afectan directamente la disponibilidad de nutrientes y la capacidad de intercambio catiónico. Esto significa que, al mejorar el contenido de materia orgánica, no solo podemos mejorar la retención de agua, sino también crear condiciones más favorables para los efectos químicos en el suelo.

Por otro lado, un estudio realizado por Chugñay y Robalino (2019), en la provincia de Chimborazo, (Ecuador), donde se aplicó ecocarbón triturado en cultivos de alfalfa, se demostró que, el suelo analizado por su contenido de materia orgánica pasó de 0.7 a 1.8% después de su aplicación.

4.3. Efecto de las dosis de ecocarbón en las propiedades químicas del suelo

4.3.1. pH del suelo

El pH del suelo antes de iniciar el ensayo fue de 5.1, considerado moderadamente ácido, luego fue evaluado hasta en tres ocasiones, a los 30, 60 y 90 días después de la aplicación del ecocarbón, notándose que, en la primera evaluación (30 días después de la aplicación), no se presentaron diferencias entre las dosis estudiadas (P>0.05), con rangos entre 5.5 y 5.6 para todos los tratamientos, los cual corresponden a un rango moderadamente ácido, según refiere Bazán (2019).

Sin embargo, conforme fue transcurriendo el periodo de evaluación, a los 60 días después de la única aplicación de las dosis de ecocarbón, se nota un ligero incremento en el valor de pH, tendiendo a la neutralidad, con promedios sucesivos de 6.6, 6.8 y 6.9 para los niveles de 0.25, 0.50 y 0.75 kg m^2, superiores significativamente (P<0.05) al testigo, que mantuvo su pH moderadamente ácido de 5.6. Tabla 7.

Tabla 7

pH del suelo por tratamiento y evaluación

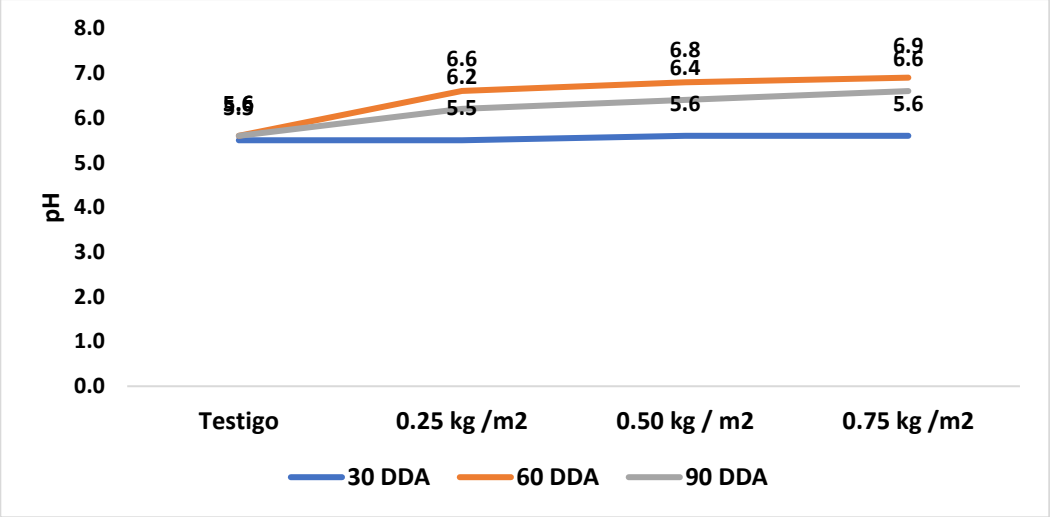
Tratamiento	30 dda	60 dda	90 dda
		pH	
T1 = Testigo	5.5 a	5.6 b	5.6 b
T2 = 0.25 kg m^2	5.5 a	6.6 a	6.2 a
T3 = 0.50 kg m^2	5.6 a	6.8 a	6.4 a
T4 = 0.75 kg m^2	5.6 a	6.9 a	6.6 a

(*) Letras iguales en la columna significan que no hay diferencias entre tratamientos.

A los 90 días después de la aplicación, los niveles de 0.25, 0.50 y 0.75 kg m^2 de ecocarbon reafirmaron su tendencia a la neutralidad de pH del suelo, con promedios de 6.2, 6.4 y 6.6, (considerados ligeramente ácidos) sin mostrar diferencias estadísticas entre ellos, pero superiores al testigo que mantuvo un nivel de pH de 5.6, conforme se aprecia en la Figura 25.

Figura 25

pH del suelo por tratamiento y evaluación



Sobre esta variable, Muhammad *et al.,* (2014) mencionan que, el biocarbón producido a partir de cáscara de fruta, estiércol de cerdo y aloe, y la colza aumentó significativamente el pH del suelo franco arenoso, pero el biocarbón producido a partir de estiércol de cerdo, seguido de cáscara de fruta, fue el más efectivo.

Por su parte, Rodríguez-Vila *et al*., (2022) señalan que, el pH del suelo generalmente aumentó con la aplicación de biocarbón producido a partir de rastrojo de maíz, cáscaras de arroz y aserrín de madera de pomelo en suelos tropicales ácidos y tropicales neutros y que el pH también

aumentó con el aumento de las temperaturas de pirólisis (300 °C, 500 °C y 700 °C).

Por el contrario, Singh *et al*., (2022), sustentan que, el biocarbón producido a diferentes temperaturas no tuvo un efecto significativo en el pH del suelo, posiblemente porque los valores de pH del biocarbón producidos a diferentes temperaturas de pirólisis no difirieron sustancialmente de los valores de pH del suelo.

La variación del pH del suelo por efecto de la aplicación del biocarbón se produce después de un año, y al respecto, Chugñay y Robalino (2019), en un ensayo efectuado en Pastaza (Ecuador), analizando los cambios en las propiedades del suelo por aplicación de biocarbón, encontraron que, la variación del pH no fue significativa, ya que se incrementó de 4,30 a 4,45.

4.3.2. Contenido de N total

El contenido inicial de N total en el suelo fue bajo con 0.07% y, a los 30 días después, los valores de N total del suelo respecto a la aplicación de las dosis aplicadas fueron casi similares a la evaluación inicial, excepto con el testigo y el nivel de 0.25 kg m^2 de ecocarbón con 0.08% cada uno, mientras que con los niveles de 0.50 y 0.75 kg m^2 de ecocarbón, el porcentaje de N total aumentó ligeramente con promedios de 0.10 y 0.13%, respectivamente. (Tabla 8).

Tabla 8

Contenido de N total del suelo por tratamiento y evaluación

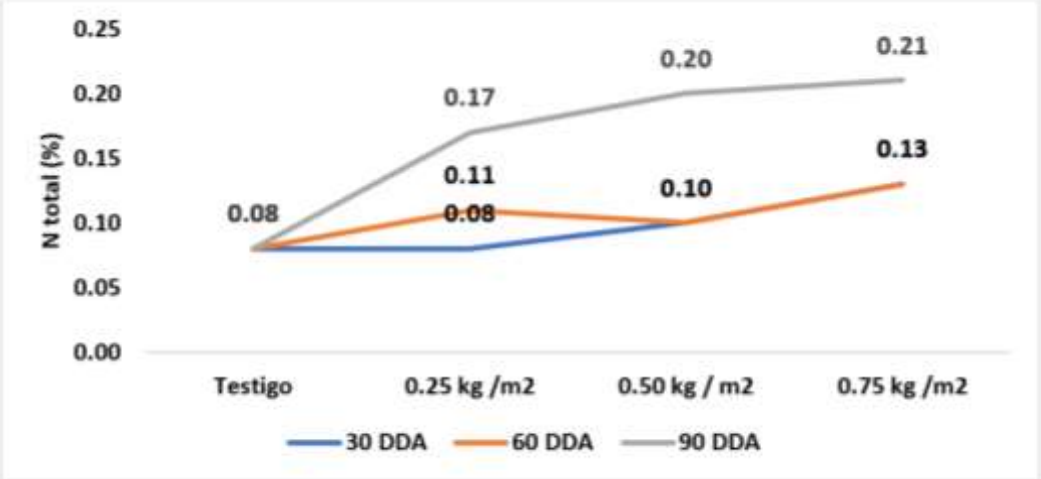
Tratamiento	30 dda	60 dda	90 dda
		N total (%)	
T1 = Testigo	0.08 a	0.08 b	0.08 b
T2 = 0.25 kg m^2	0.08 a	0.11 a	0.17 b
T3 = 0.50 kg m^2	0.10 a	0.10 a	0.20 a
T4 = 0.75 kg m^2	0.13 a	0.13 a	0.21 a

(*) Letras iguales en la columna significan que no hay diferencias entre tratamientos.

En la última evaluación, ya se aprecia diferencias significativas entre los tratamientos ensayados (P<0.05), correspondiendo los mejores promedios cuando se aplicó las dosis de 0.75, 0.50 y 0.25 kg m^2 de ecocarbón con 0.21, 0.20 y 0.17% de N total, mientras que el testigo sólo obtuvo 0.08%, muy inferior a los que registraron cuando se aplicó las dosis de ecocarbón.

Figura 26

Contenido de N total por tratamiento y evaluación



La aplicación de biocarbón ayuda significativamente a la mejora y transformación de los nutrientes del suelo, reduciendo la necesidad de

fertilizantes químicos. El biocarbón tiene una estructura de carbono estable y una fuerte resistencia a la degradación microbiana, lo que aumenta la cantidad de carbono orgánico del suelo (COS) y facilita la acumulación de materia orgánica.

Al respecto, Zhou *et al*., (2019), informaron que el tratamiento con biocarbón elevó drásticamente los niveles de nutrientes en el suelo (COS, nitrógeno disponible, fósforo disponible y potasio disponible), probablemente porque el biocarbón se originó principalmente de desechos agrícolas y forestales y contenía una cierta cantidad de materia orgánica y nutrientes fácilmente disponibles.

Tras la aplicación al suelo, el autor señala que, el biocarbón aumenta notablemente el contenido de materia orgánica en el suelo y mejora la actividad microbiana asociada con los nutrientes fácilmente disponibles. Esta interacción promueve la disolución de nutrientes, aumentando las concentraciones en el suelo.

4.3.3. Contenido de P disponible

Para el caso del contenido de P disponible en el suelo, al inicio el valor fue de 6.38 mg kg^{-1}, sin embargo, al transcurrir la primera evaluación, también se observa diferencias estadísticas ($P<0,05$), entre las dosis probadas de biocarbón, con 36.95 y 27.23 mg kg^{-1} de P para 0.75 y 0.50 kg m^2, mientras que con la aplicación de 0.25 kg m^2, se obtuvo 19.57 mg kg^{-1}, y el testigo sólo registró 8.72 mg kg^{-1} de P disponible. (Tabla 9).

Similar comportamiento se presentó en la segunda evaluación, donde las dosis de 0.75, 0.50 y 0.25 kg m^2, reportaron 37.20, 35.27 y 25.13

mg kg^{-1} de P disponible, cada una, mientras el testigo mantuvo su promedio de 8.72 mg kg^{-1} de P disponible.

Tabla 9

Contenido de P disponible por tratamiento y evaluación

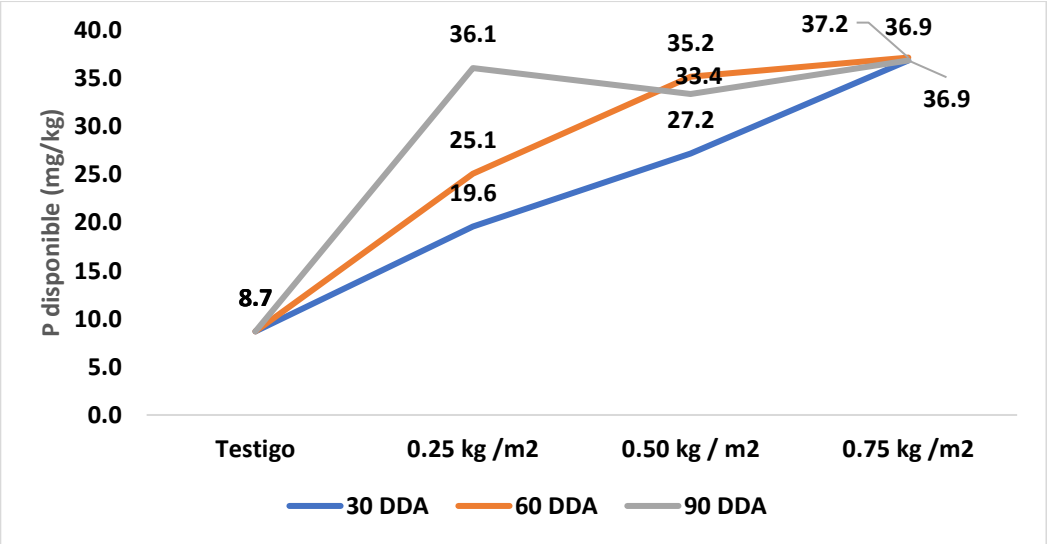
Tratamiento	30 dda	60 dda	90 dda
	P disponible (mg kg^{-1})		
T1 = Testigo	8.72 c	8.72 b	8.72 b
T2 = 0.25 kg m^2	19.57 b	25.13 a	36.09 a
T3 = 0.50 kg m^2	27.23 a	35.27 a	33.44 a
T4 = 0.75 kg m^2	36.95 a	37.20 a	36.95 a

(*) Letras iguales en la columna significan que no hay diferencias entre tratamientos.

A los 90 días después de la aplicación, el contenido de P disponible mantuvo su nivel respecto a la evaluación anterior, con 36.95, 36.09 y 33.44 mg kg^{-1} de P, para las dosis de 0.75, 0.25 y 0.50 kg m^2, sin presentar diferencias entre ellas, pero superiores al testigo quien registró un promedio de 8.72 mg kg^{-1} de P disponible en el suelo, conforme se aprecia en la Figura 27.

Figura 27

Contenido de P disponible por tratamiento y evaluación



Cabe indicar que, a diferencia del contenido de N total en el suelo, el incremento del P respecto al inicio del ensayo fue muy notorio en las tres evaluaciones por efecto de la aplicación de las crecientes dosis de ecocarbón.

Respecto a esta variable, Zhou *et al*., (2019), señala que, cuando se aplicó biocarbón, se elevó drásticamente el contenido de P disponible, probablemente porque el material usado fue principalmente de desechos agrícolas y forestales y contenía una cierta cantidad de materia orgánica y nutrientes fácilmente disponibles. Tras la aplicación al suelo, el biocarbón aumentó también, el contenido de materia orgánica en el suelo y mejoró la actividad microbiana asociada con los nutrientes fácilmente disponibles.

Comparando los resultados del ensayo, Chugñay y Robalino (2019), en Pastaza (Ecuador), analizando los cambios en las propiedades del suelo por aplicación de ecocarbon, encontraron que, el contenido de P disponible disminuyó de 6.14 a 2.32 mg kg^{-1}, sin embargo, se contradice

con los resultados de Alonso *et al*., (2016), quien menciona que en suelos al adicionar ecocarbón se observa un incremento de P y una disminución del Al.

4.3.4. Contenido de K cambiable

El nivel de K cambiable en el suelo al inicio del experimento fue de 0.10 meq/100 g suelo, subiendo significativamente en la evaluación inicial (30 días después de la aplicación), pero sin llegar a mostrar diferencias estadísticas entre las dosis probadas (P>0.05), con 0.36, 0.31, 0.28 y 0.27 meq 100 g de suelo^{-1}, para los tratamientos con 0.75, testigo, 0.50 y 0.25 kg m^2 de enmienda, respectivamente. (Tabla 10).

A los 60 días después, el contenido de K cambiable en el suelo, tuvo mejor respuesta a la aplicación de los niveles 0.75, 0.50 y 0.25 kg m^2 de enmienda, con 0.74, 0.60 y 0.44 meq K 100 g de suelo^{-1}, respectivamente, mientras el tratamiento testigo fue significativamente inferior con 0.31 meq de K 100 g de suelo^{-1}.

La diferencia entre los tratamientos probados en el ensayo respecto al testigo se mantuvo a los 90 días después, ya que los tratamientos donde se aplicó 0.75, 0.50 y 0.25 kg m^2 de enmienda, propiciaron un aumento significativo de 0.76, 0.60 y 0.58 meq K 100 g de suelo^{-1}, mientras que el testigo se mantuvo por debajo, al registrar 0.31 meq de K 100 g de suelo^{-1}.

Tabla 10

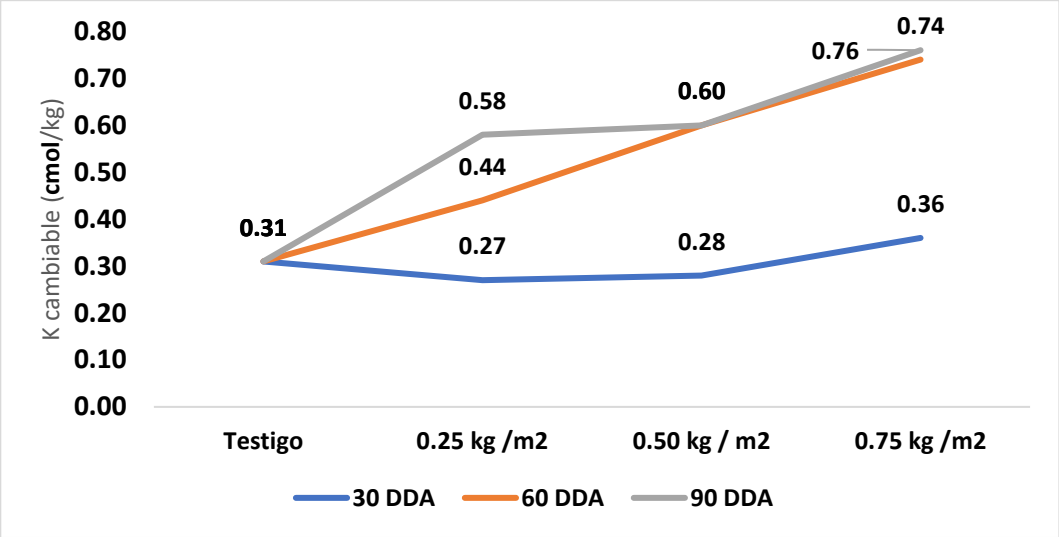
Contenido de K cambiable por tratamiento y evaluación

Tratamiento	30 dda	60 dda	90 dda
	K cambiable (meq/100 g suelo)		
T1 = Testigo	0.31 a	0.31 b	0.31 b
T2 = 0.25 kg m^2	0.27 a	0.44 a	0.58 a
T3 = 0.50 kg m^2	0.28 a	0.60 a	0.60 a
T4 = 0.75 kg m^2	0.36 a	0.74 a	0.76 a

(*) Letras iguales en la columna significan que no hay diferencias entre tratamientos.

Figura 28

Contenido de K cambiable por tratamiento y evaluación



En este contexto, varios autores citados por Chugñay y Robalino (2019), mencionan que, el K y otros cationes cambiables se incrementan con la aplicación de ecocarbón, independiente de la textura y edad del ecocarbón (Aker *et al*, 2014). Ellos señalan también que, al aplicarlo se mejora la capacidad de retención de nutrientes a largo plazo, sin embargo, aducen que se necesita realizar más estudios de las interacciones entre el

ecocarbón y la dinámica entre nutrientes como el K.

4.3.5. Contenido de Ca cambiable

El contenido de Ca cambiable en el suelo previo al ensayo fue de 3.13 meq 100 g suelo^{-1}, y a los 30 días después de la aplicación de las dosis de ecocarbón, los valores del catión se mantuvieron de manera casi similar por lo que, no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos (P>0.05), registrándose promedios consecutivos de 3.77, 3.61 y 3.72 meq de Ca 100 g de suelo^{-1}, para las dosis de 0.25, 0.50 y 0.75 kg m^2 de ecocarbon, respectivamente. (Tabla 11).

Tabla 11

Contenido de Ca cambiable por tratamiento y evaluación

Tratamiento	30 dda	60 dda	90 dda
	Ca Cambiable (meq/100 g suelo)		
T1 = Testigo	3.31 a	3.03 b	3.03 b
T2 = 0.25 kg m^2	3.77 a	4.09 a	5.44 a
T3 = 0.50 kg m^2	3.61 a	3.85 a	6.33 a
T4 = 0.75 kg m^2	3.72 a	4.22 a	7.35 a

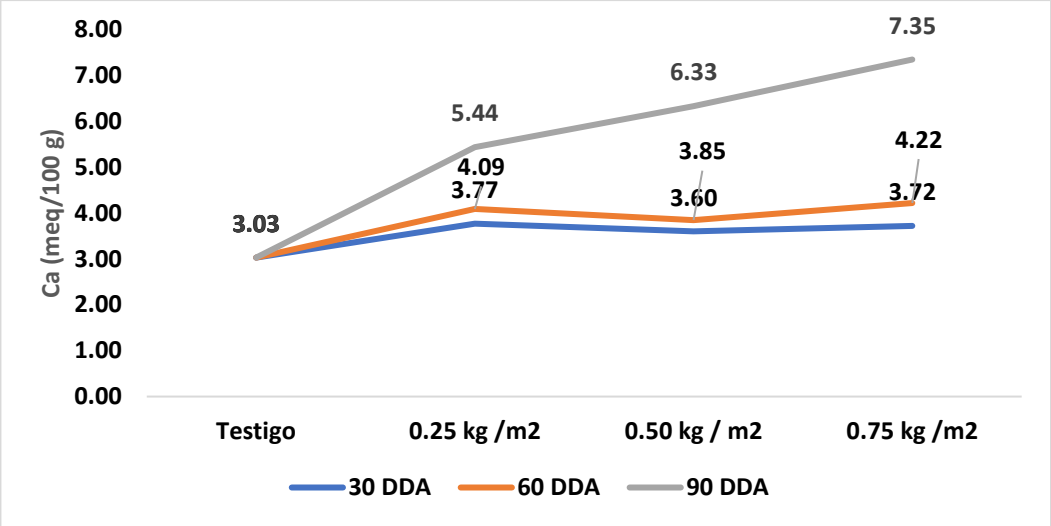
(*) Letras iguales en la columna significan que no hay diferencias entre tratamientos.

A los 60 días después de aplicadas las diferentes dosis hubo un incremento significativo en todos los tratamientos donde se aplicó el ecocarbón, presentándose diferencias estadísticas entre ellos (P<0.05), para lo cual, la mejor respuesta fue con la aplicación de 0.75 kg m^2 de enmienda (4.22 meq 100 g de suelo^{-1}), sin ser superior estadísticamente cuando se aplicó los niveles de 0.25 y 0.50 kg m2 con 3.77 y 3.61 meq de

Ca 100 g de suelo^{-1}, cada uno, mientras que el tratamiento testigo se ubicó último con 3.03 meq de Ca 100 g de suelo^{-1}.

Figura 29

Contenido de Ca cambiable por tratamiento y evaluación



A los 90 días después, el contenido de Ca cambiable en el suelo tuvo una mejor respuesta por la aplicación de las dosis de biocarbón frente al testigo, ya que se obtuvo promedios de 0.75 y 0.50 kg m^2, superiores a la aplicación de 0.25 kg m^2 con 5.44 meq de Ca 100 g de suelo, mientras el testigo reporta igual valor que en las evaluaciones anteriores (3.03 meq de Ca 100 g de suelo^{-1}).

En este escenario, Petter *et al*., (2012), citados por Chugñay y Robalino (2019), encontró en Brasil que, al aplicar ecocarbón de eucalipto se mejora la calidad del suelo franco arenoso, de un valor inicial de 2,8 meq/100 g de suelo de Ca, en el periodo de un año, se incrementó un 0,41 meq /100 g de suelo.

4.3.6. Contenido de Mg cambiable

El contenido de Mg cambiable previo al ensayo fue bajo con un promedio de 1.58 meq de Mg 100 g suelo^{-1}, mientras que, a los 30 días después de la aplicación de las diferentes dosis de la enmienda, los promedios se mantuvieron casi similares respecto al valor inicial, aun cuando no se reportaron diferencias estadísticas entre tratamientos (P>0.05), con promedios de 1.63, 1.61, 1.48 y 1.82 meq de Mg cambiable 100 g de suelo^{-1}, para el testigo y los niveles sucesivos de 0.25, 0.50 y 0.75 kg m^2 de ecocarbón, respectivamente. Tabla 12.

Tabla 12

Contenido de Mg cambiable por tratamiento y evaluación

Tratamiento	30 dda	60 dda	90 dda
	Mg Cambiable (meq/100 g suelo)		
T1 = Testigo	1.63 a	1.63 b	1.63 b
T2 = 0.25 kg m^2	1.61 a	2.17 a	2.35 a
T3 = 0.50 kg m^2	1.48 a	2.09 a	2.70 a
T4 = 0.75 kg m^2	1.82 a	2.28 a	3.15 a

(*) Letras iguales en la columna significan que no hay diferencias entre tratamientos.

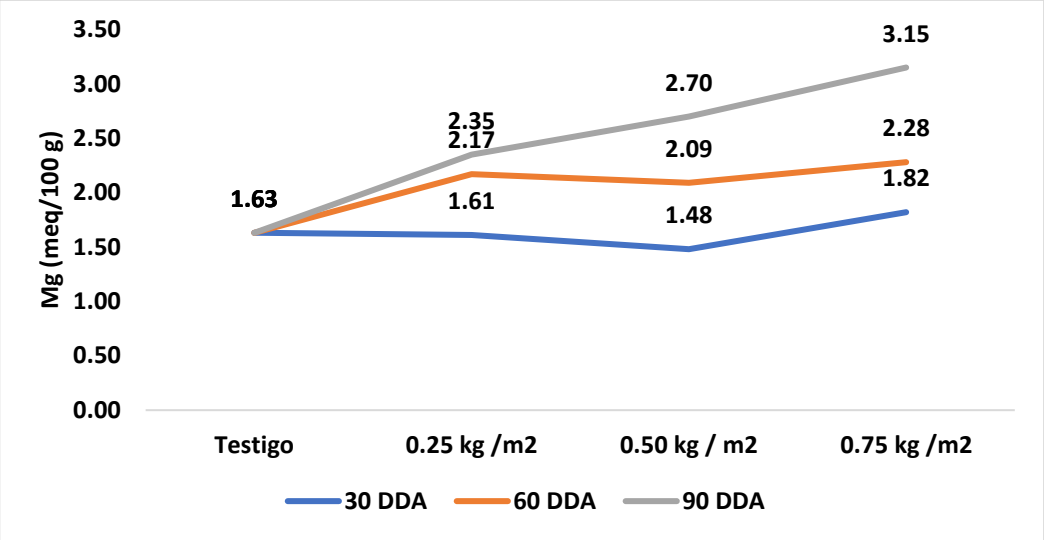
De forma diferente a la evaluación anterior, a los 60 días después de la aplicación de las dosis de ecocarbón por unidad experimental, se aprecian diferencias estadísticas entre las dosis estudiadas por el contenido de Mg cambiable (P<0.05), respecto al tratamiento testigo, correspondiendo sucesivamente, promedios de 2.28, 2.17 y 2.09 meq de Mg 100 g de suelo^{-1}, para los niveles de 0.75, 0.25 y 0.50 kg m^2 de

ecocarbón, pero superiores al testigo que se mantuvo en 1.63 meq de Mg 100 g de suelo^{-1}.

A los 90 días después de la aplicación de las dosis de ecocarbón, los niveles de Mg cambiable en el suelo se incrementaron significativamente cuando se aplicó los niveles de enmienda de 0.75, 0.50 y 0.25 kg m^2, con promedios de 3.15, 2.70 y 2.35 meq de Mg cambiable 100 g suelo^{-1}, a la vez que el tratamiento testigo mantuvo su nivel por debajo de los demás tratamientos con 1.63 meq de Mg 100 g de suelo^{-1}.

Figura 30

Contenido de Mg cambiable por tratamiento y evaluación



Al respecto, un ensayo de Chugñay y Robalino (2019), en Pastaza (Ecuador), analizando los cambios en las propiedades del suelo por aplicación de ecocarbon, encontraron que, el contenido de Mg se incrementó de 0,26 a 0,41 meq/100 g de suelo.

Al realizar aplicaciones de ecocarbón, existe la tendencia al incremento del contenido de Mg cambiable en los suelos franco arcillo arenoso, al igual en otro estudio, señalan que, las enmiendas de ecocarbón

elevan los niveles de Mg, en suelos alfisoles, obteniendo valores de 3,58 a 8,54 meq/100 g de suelo.

4.3.7. Contenido de Al cambiable

El contenido de Al cambiable en el suelo al iniciar del ensayo fue de 0.81 meq 100 g de suelo^{-1}, mientras que, a los 30 días después, el valor del catión descendió significativamente ($P<0.05$), a 0.53, 0.45 y 0.42 meq de Al 100 g de suelo^{-1}, cuando se aplicó las dosis de 0.25, 0.50 y 0.75 kg m^2 de ecocarbón, respectivamente, mientras que el testigo redujo su nivel a 0.65 meq de Al 100 g de suelo^{-1}, superando estadísticamente a todos los tratamientos. (Tabla 13).

Tabla 13

Contenido de Al cambiable por tratamiento y evaluación

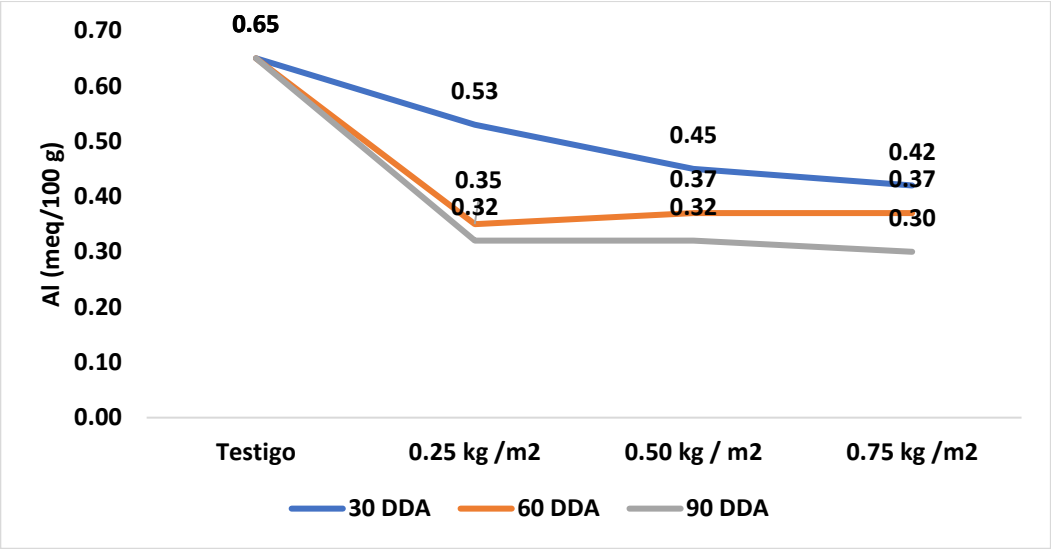
Tratamiento	30 dda	60 dda	90 dda
	Al Cambiable (meq/100 g suelo)		
T1 = Testigo	0.65 a	0.65 a	0.65 a
T2 = 0.25 kg m^2	0.53 b	0.35 b	0.32 b
T3 = 0.50 kg m^2	0.45 b	0.37 b	0.32 b
T4 = 0.75 kg m^2	0.42 b	0.37 b	0.30 b

(*) Letras iguales en la columna significan que no hay diferencias entre tratamientos.

A los 60 días después de la aplicación, el contenido de Al bajo de forma significativa, por efecto de la aplicación de las diferentes dosis probadas, respecto al testigo, quien en esta evaluación mantuvo su nivel anterior, mientras que cuando se aplicó las dosis de 0.50, 0.75 y 0.25 kg m^2 de ecocarbón, los niveles fueron reducidos sucesivamente a 0.37, 0.37 y 0.35 meq de Al 100 g de suelo^{-1}.

Figura 31

Contenido de Al cambiable por tratamiento y evaluación



Un comportamiento similar que las evaluaciones anteriores, se observó a los 90 días después de la aplicación de las dosis de ecocarbón, ya que mientras el testigo mantuvo su nivel de 0.65 meq de Al 100 g de suelo^{-1}, con las aplicaciones de 0.25, 0.50 y 0.75 kg m^{2} de ecocarbón, se redujeron a 0.30, 0.32 y 0.32 meq de Al 100 g de suelo^{-1}, sucesivamente.

Estos resultados guardan una relación con respecto a los valores de pH y de P disponible durante las evaluaciones desarrolladas, ya que, en el primer caso, el valor de pH tendió a la neutralidad y el valor de P disponible subió considerablemente, conforme se desarrollaron las evaluaciones a los 30, 60 y 90 días después de aplicadas las diferentes dosis de la enmienda.

De forma diferente a los resultados de nuestro ensayo, Chugñay y Robalino (2019), en Pastaza (Ecuador), analizando los cambios en las propiedades del suelo por aplicación de ecocarbon, encontraron que, el Al intercambiable se incrementó de 0,73 a 0,88 meq/100 g de suelo, aduciendo que, la aplicación de ecocarbón reduce el Al intercambiable del

suelo, sin embargo con los datos de su estudio hubo un incremento, esto puede estar influenciado por el pH del suelo, ya que cuando tiene un valor menor a 5.5, el contenido de Al es alto.

4.3.8. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La Capacidad de intercambio catiónico (CIC), medida al iniciar el ensayo, presentó un nivel bajo con 5.65 meq 100 g suelo^{-1}, y posteriormente tuvo un incremento ligero cuando fue evaluada a los 30 días después de la aplicación de las diferentes dosis de ecocarbón ($P<0.05$), con promedios de 6.60, 6.59 y 6.56 meq 100 g de suelo^{-1}, en los niveles de 0.50, 0.25 y 0.75 kg m^2, respectivamente, siendo superiores al testigo, que reportó 5.75 meq 100 g de suelo^{-1}. (Tabla 14).

Tabla 14

CIC por tratamiento y evaluación

Tratamiento	30 dda	60 dda	90 dda
	CIC (meq/100 g suelo)		
T1 = Testigo	5.75 b	5.75 b	5.75 b
T2 = 0.25 kg m^2	6.59 a	6.71 a	9.78 a
T3 = 0.50 kg m^2	6.60 a	6.74 a	9.88 a
T4 = 0.75 kg m^2	6.56 a	6.74 a	10.68 a

(*) Letras iguales en la columna significan que no hay diferencias entre tratamientos.

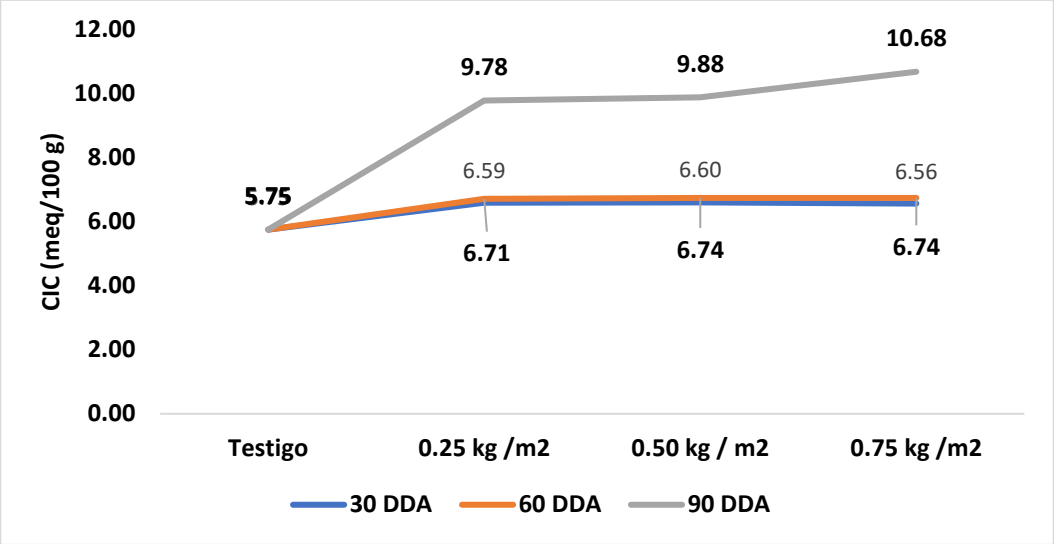
A los 60 días posteriores a la aplicación de las diferentes dosis, ya se nota un incremento por efecto de la aplicación de las diferentes dosis de ecocarbón, apreciándose diferencias estadísticas ($P<0.05$), respecto al testigo, con promedios sucesivos de CIC de 6.74, 6.74 y 6.71 meq 100 g

de suelo^{-1}, para las dosis de 0.50, 0.75 y 0.25 kg m^2 de enmienda, sin expresar diferencias entre ellas, pero superiores al testigo, quien se mantuvo con 5.75 meq 100 g de suelo^{-1}.

A los 90 días después de la aplicación, los promedios de CIC tuvieron un incremento significativo, especialmente con los niveles de 0.75, 0.50 y 0.25 kg m^2 de ecocarbón, con 10.68, 9.88 y 9.78 meq 100 g de suelo^{-1} cada uno, mientras que el tratamiento testigo se mantuvo con 5.75 meq 100 g de suelo^{-1}.

Figura 32

CIC por tratamiento y evaluación



Sobre el particular, hay que destacar que, para las condiciones iniciales de la CIC, el incremento de su valor por efecto de la aplicación de las diferentes dosis en la segunda y tercera evaluación fue significativa, comprobando de esta forma, la eficiencia de la enmienda orgánica en esta propiedad química del suelo.

Al respecto, Phares *et al.,* (2022), encontró que, con tasas de aplicación de 2000 kg ha^{-1}, se produjo un incremento significativo de la CIC

del suelo (154 a 191%), mientras que, Ahmad *et al.,* (2019), sustenta que, el pH del suelo influye en los efectos del biocarbón sobre la CIC del suelo, por lo que, un aumento de pH ayuda a distribuir las cargas dentro del suelo y a mejorar la retención de cationes, mejorando de esta forma, la CIC del suelo a través de las interacciones entre su materia orgánica y grupos catiónicos, conforme lo sostiene Czekala *et al.,* (2019)

4.4. Porcentaje acidez cambiable (PAC)

El porcentaje de acidez cambiable (PAC) inicial fue de 20.35%, ya que el contenido de Al + H, fue de 1.15 meq 100 hg de suelo^{-1} respecto a la CIC que tuvo un valor inicial de 5.65 meq 100 hg de suelo^{-1}. Tabla 19.

La evaluación a los 30 días después de la aplicación de las dosis de ecocarbón muestra una reducción significativa de la acidez del suelo ($P>0.05$), en todos los tratamientos, registrándose promedios de 5.52, 5.13 y 5.39%, para los tratamientos donde se aplicó 0.25, 0.50 y 0.75 kg m^2.

A los 60 días posteriores, la reducción de la acidez tuvo mejores efectos significativos, donde destacan las dosis de 0.75 y 0.25 kg m^2 de biocarbón con 3.59 y 4.14%, cada una, mientras que con la aplicación de 0.50 kg m^2 y el testigo, las reducciones fueron sucesivamente,5.78 y 5.33% de acidez cambiable.

Tabla 15

PAC por tratamiento y evaluación

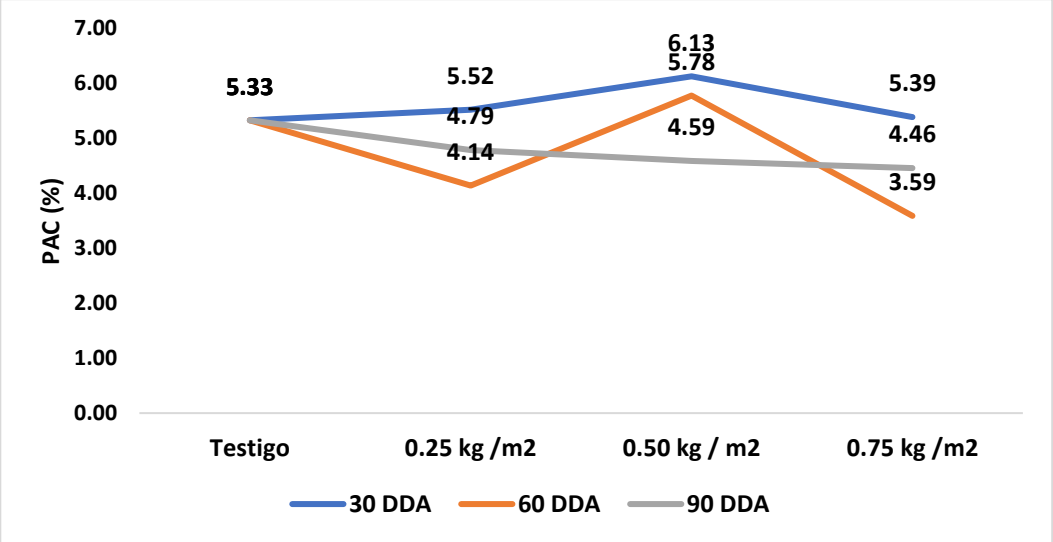
Tratamiento	30 dda	60 dda	90 dda
	Porcentaje de acidez cambiable (%)		
T1 = Testigo	5.33 a	5.33 a	5.33 a
T2 = 0.25 kg m^2	5.52 a	4.14 b	4.79 b
T3 = 0.50 kg m^2	6.13 a	5.78 a	4.59 b
T4 = 0.75 kg m^2	5.39 a	3.59 b	4.46 b

(*) Letras iguales en la columna significan que no hay diferencias entre tratamientos.

A los 90 días después de la aplicación de los niveles de enmienda, los valores de acidez intercambiable se mantuvieron similares a la evaluación anterior, en todos los niveles aplicados sin mostrar diferencias significativas cuando se comparó con el testigo, siendo los promedios de 4.79, 4.59 y 4.46% con la aplicación es de 0.25, 0.50 y 0.75 kg m^2, mientras el testigo mantuvo su valor de 5.33% de acidez cambiable.

Figura 33

PAC por Tratamiento y Evaluación



Respecto a este parámetro Chugñay y Robalino (2019), en su investigación encontraron que la acidez intercambiable se incrementó de 1,86 a 2,22 meq/100 g de suelo, aduciendo que, el incremento de la acidez intercambiable también puede estar causada por varios factores como los cambios climáticos, la precipitación, la degradación de la materia orgánica, provocando una mayor acidez en el suelo.

En este sentido, diversos estudios han mostrado que la aplicación de ecocarbón ayuda a evitar la lixiviación de los nutrientes, incrementando los niveles de pH, los contenidos de Ca, Mg, K y la disponibilidad de P, mientras que, otras investigaciones similares han llevado a dar argumentos concluyentes para que el ecocarbón sirva como herramienta importante de la gestión del suelo.

Por este motivo podemos afirmar que, el ecocarbón mejora la capacidad del suelo para absorber y retener nutrientes al tiempo que reduce su vaporización y lixiviación en las aguas superficiales y subterráneas, mejorando la retención de nutrientes en el suelo.

Finalmente, podemos destacar el rol del ecocarbon en la transformación de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, sin embargo, el tipo de suelo, la materia prima utilizada, la temperatura de pirólisis, la tasa y el método de aplicación, influyen en gran medida en el rendimiento del ecocarbón en diferentes condiciones ambientales.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se determinó que la aplicación del ecocarbón de madera produjo un efecto positivo en la modificación de las características físicas y químicas de un suelo degradado de Pucallpa. Los resultados evidenciaron que, a medida que se incrementaron las dosis y avanzó el tiempo de evaluación (30, 60 y 90 días), se mejoraron variables como el pH, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la reducción de la acidez cambiable, confirmando así su potencial como enmienda orgánica para la recuperación de suelos degradados.

- Se identificó que la dosis de 0.75 kg/m² de ecocarbón fue la más efectiva en generar modificaciones significativas en las propiedades fisicoquímicas del suelo, especialmente en el incremento del contenido de materia orgánica (4.18%), nitrógeno total (0.21%), fósforo disponible (36.95 mg/kg) y potasio cambiable (0.76 meq/100 g). Estos valores superaron ampliamente al tratamiento testigo, lo que demuestra que la respuesta del suelo fue directamente proporcional a la dosis aplicada.

- Se analizó que las propiedades físicas del suelo mantuvieron su textura franca durante todo el periodo experimental, sin variaciones notorias; sin embargo, el contenido de materia orgánica aumentó

progresivamente en todas las dosis de ecocarbón, alcanzando sus máximos valores a los 90 días. Esto sugiere que el ecocarbón favoreció la estabilidad estructural y la retención de humedad del suelo, generando condiciones más favorables para la actividad biológica y la disponibilidad de nutrientes.

- Respecto a las propiedades químicas, se observó que el ecocarbón elevó el pH del suelo hacia valores cercanos a la neutralidad, incrementó los cationes cambiables (Ca, Mg y K), y mejoró la CIC, mientras redujo significativamente el contenido de aluminio y la acidez cambiable. En conjunto, estos resultados evidenciaron que la aplicación del ecocarbón contribuyó a mejorar la fertilidad y calidad del suelo degradado, constituyéndose en una alternativa sostenible para la restauración de ecosistemas edáficos de la Amazonía peruana.

5.2. Recomendaciones

- En primer lugar, se recomienda emplear la dosis de 0.75 kg/m² de ecocarbón, dado que fue la que mostró los efectos más favorables en la mejora del pH, el aumento de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes esenciales (N, P, K, Ca y Mg). No obstante, la dosis de 0.50 kg/m² también puede ser considerada viable cuando se busque una alternativa de menor costo, siempre que se mantenga una distribución uniforme y una adecuada incorporación en el suelo.

- Asimismo, conviene complementar la aplicación de ecocarbón con abonos orgánicos o compost, a fin de potenciar el incremento sostenido de la materia orgánica y mejorar la estructura del suelo. De igual modo, se sugiere mantener coberturas vegetales o residuos vegetales superficiales que favorezcan la retención de humedad y la estabilidad física del suelo, reforzando así los efectos positivos del ecocarbón observados en el presente estudio.

- Por otro lado, se considera necesario establecer un programa de monitoreo periódico de las propiedades fisicoquímicas del suelo, especialmente del pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y los niveles de nutrientes. Este seguimiento permitirá verificar la permanencia de los efectos del ecocarbón en el tiempo y definir con precisión la frecuencia óptima de reaplicación, garantizando la sostenibilidad de los resultados obtenidos.

- Finalmente, se sugiere verificar la calidad del ecocarbón utilizado, asegurando que provenga de madera local sometida a pirólisis controlada, libre de impurezas o residuos no carbonizados. En esa misma línea, se recomienda replicar ensayos a mayor escala en distintas condiciones edafoclimáticas de la Amazonía peruana, con el fin de validar la efectividad de las dosis óptimas (0.50 y 0.75 kg/m^2) y consolidar el uso del ecocarbón como una tecnología sostenible de rehabilitación de suelos degradados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso, C., Cely, P., Gascó, G., Paz-Ferreiro, J., Méndez, A., & Plaza, C. (2016). *Changes in soil nutrient availability and plant growth in a biochar-amended tropical soil*. *Geoderma, 279*, 31–39.

Ahmad, M., Ahmad, M., Usman, A., Al-Faraj, A., Abduljabbar, A., Ok, Y., Al-Wabel, M. (2019). Date palm waste-derived biochar composites whit silica and zeolite: Syntesis, characterization and implication for carbon stability and recalcitrant potential. *Environ. Geoche. Health. 41, 1687-1704.*

Amonette, J. (2009). *An introduction to biochar: Concept, processes, properties, and applications. Harvesting Clean Energy 9. Special Workshop.*

Aker, A. M., Steiner, C., Teixeira, W. G., Zech, W., & Glaser, B. (2014). *Biochar effects on nutrient dynamics and nutrient uptake in tropical soils*. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 177*(5), 667–679.

Aquije, R. (2019). *Tecnologías ambientales y aprovechamiento de residuos orgánicos vegetales para la mejora de la fertilidad del suelo*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Arguello, H., & Chiguachi, D. (2020, septiembre 14). *Efecto de diferentes concentraciones de biocarbón y compost en la producción y desarrollo del cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum) bajo cubierta*. Cuadernos de Agroecologia, 15(2).

Azabache, J., Rojas, L., & Martínez, P. (2003). *Manual de conservación y manejo de suelos agrícolas*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía. Lima, Perú.

Bazán, J. (2019). *Determinación de la materia orgánica del suelo mediante el método de Walkley y Black según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-*

RECNAT-2000. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias del Suelo. Lima, Perú.

Callo, D. (2011). *Cuantificación de C secuestrado por algunos sistemas agroforestales y testigos en tres pisos ecológicos de la Amazonía del Perú. 72 p.* Chapingo- Mexico.: Tesis Mag. Sc. México, Universidad Autónoma de Chapingo.

Czekala, W., Jezowska, A. & Chelkowski, D. (2019). The use of biochar for the Production of Organic Fertilizer. In J. Ecol. Eng. 20, 1-8

Chugñay, M., & Robalino, D. (2019). *Variación de condiciones edáficas en el proceso de restauración con enmiendas de biocarbón.* Pastaza. Ecuador.: Tesis Ingeniero Ambiental. Universidad Estatal Amazónica.

De Gryze, S., Cullen, M. & Durschinger, L. (2010). *Evaluation of the opportunities for generating carbon offsets from soil sequestration of Biochar. Climate action reserve. Terra Global Capital. LLC.*

Downie, A., Crosky, A., & Munroe, P. (2009). *Physical properties of biochar*. En J. Lehmann & S. Joseph (Eds.), *Biochar for environmental management: Science and technology* (pp. 13–32). Earthscan.

Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E., & Etchevers Barra, J. D. (2016). *Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo*. Terra Latinoamericana, 34(3), 367-382.

Fassbender, H. W., & Bornemisza, E. (1989). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina* (2.ª ed.). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Gómez, J. A., Nearing, M. A., Giráldez, J. V., & Alberts, E. E. (2008). *Analysis of sources of variability of runoff volume in laboratory and field experiments*. *Catena, 71*(2), 202–209.

Herrera, E. (2018). *Producción de biocarbón a partir de biomasa residual y su uso en la germinación y crecimiento en vivero de Capparis scabrida (Sapote).* In Scientia Agropecuaria. Vol 9(4) pp 569-577.

Iglesias-Abad, S., Álvarez-Vera, M., Vázquez, J., & Salas Macías, C. (2020). *Biochar de biomasa residual de eucalipto (Eucalyptus globulus) mediante dos métodos de pirólisis*. *Manglar*, 17(2), 105-111.

Jeffery, S. (2015). Biochar application does not improve the soil hydrological function of a sandy soil. *Revista Geoderma. Volúmenes 251-252.*, Pp. 47-54.

Ladd, B., Dumler, S., Loret de Mola, E., Anaya de la Rosa, R., & Borchard, N. (2023). *Incremento de rentabilidad en produccion del maiz en Peru: N-Fertilizantes y biocha*. Revista The biologist, 15(2), 351-358.

Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. Front. Ecol. Environ. 5: 381-387.

Leveau, M. (2018). Efecto de la aplicación de Biochar derivado de residuos verdes y estiércol. *In Revista Científica de la Universidad Científica del Sur.*

Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizão, F. J., Petersen, J., & Neves, E. G. (2006). *Black carbon increases cation exchange capacity in soils*. *Soil Science Society of America Journal, 70*(5), 1719–1730.

Lozano, R., Alegre, J., Velazco, E., Mendoza, M., & Nieto, W. (2021). *Biocarbón de cáscaras de semilla de palma aceitera enriquecido en biol de estiércol para mejorar suelos sobre pastoreados.*

Mc Laughlin, H., Anderson, P. S., Shields, F. E., & Reed, T. B. (2009). *All biochars are not created equal, and how to tell them apart*. *Proceedings of the North American Biochar Conference*, Boulder, CO.

Muhammad, N., Dai, Z., Xiao, K., Meng, J., Brokes, P., Liu, X., Wang, H., Wu, J. & Xu, J. (2014). Changes in structure due to biochars generated from differnt feedstocks and their relationship whit soil chemical properties. Geoderma 2014, 226, 270-278

Olmo, M. (2023). *Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. Córdova España.:* Córdova España: Tesis doctoral. Universidad de Córdova España.

Orozco Gutiérrez, G., & De Lira Fuentes, R. C. (2019). Elaboración de biocarbón para el aprovechamiento de residuos provenientes de las podas de bambú (*Guadua angustifolia) en Colima (México). *Revista Mexicana de Agroecosistemas, 7*(1), 1-9.

Phares, C., Amoakwah, E., Danquak, A., Akaba, S., Frimpong, K., & Mensah, T. (2022). Improved soil physicochemical, biological properties and netincome following the application of inorganic NPK fertilizer and biochar maize production. *Acta Ecol. Sin*.42, 289-295.

Ramirez, E. (2019). *Génesis, morfología, clasificación y susceptibilidad de suelos de la parte media del río Abujao región Ucayali. Lima-Perú.112 p.* Lima- Perú: Tesis Posgrado Universidad Nacional Agraria La Molina.

Rivera, J. (2021). *Efecto de enmiendas con biocarbones sobre propiedades físicas, químicas y fitoabsorción de Cadmio en suelos disímiles sembrados con lechuga.* Medellin-Colombia: Tesis Maestría Universidad Nacional de Colombia.

Rodríguez-Vila, A., Atuah, L., Abubakari, A., Atorqui, D., Abdul-Karim, A., Coole, S. & Hammond, J. (2022). Effect of Biochar on Micronutrient Availabity and Uptake Into Leafy Greens in two Urban Tropical Soil whit contrasting soli pH. Front Sustain. Foods System.

Rodríguez, J. (2024). Efecto de la aplicación de biochar en la dinámica del suelo y el crecimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), recién establecido en la zona de San Alejandro Padre Abad. Tesis Universidad Nacional de Ucayali, 88 p.

Rodríguez, A. & Aponte, M. (2021). Tendencias en el uso del biocarbón. *denominado tendencia en el uso del biocarbón como acondicionador del suelo*, 25-36.

Ruiz, K. (2019). *El biocarbón y su uso en la recuperación de suelos aridos.* Lima. Perú.: Tema de investigación para Grado de Bachiller en Ingeniería Ambiental, Universidad Científica del Sur.

Shenbagavalli, S. & Mahimairaja, S. (2012). Production and characterization of biochar from different biological wastes. *International journal of plant, animal and enviroment sciences,* 197-201.

Sing, H., Northup, B., Rice, C., & Prassad, P. (2022). Biochar applications influence soil physical and chemycal properties, microbial diversity and crop productivity: A meta-analysis. Biochar 4 (8).

Trujillo, E. (2023). *Producción y Caracterización de Biochar a partir de residuos orgánicos avícolas*. Tesis Universidad Agraria La Molina. Lima.

Zavaleta, A., Ramírez, J., & Paredes, C. (1992). *Fertilidad y manejo de suelos agrícolas*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía. Lima, Perú.

Zhou, Z., Gao, T., Zhu, Q., Yan, T., Li, D; Wang, H., Gao, B. & Yan, J. (2019). Characteristics of organo-mineral complexes induced by biochar-based fertilizer amendments to karst calcareous soil. *Geoderma* 337.691-700.

Zhu, X., Wang, Y., & Li, Z. (2025). Biochar as a soil amendment: effects on pH, nutrient retention and plant growth in intensive agriculture. *International Journal of Soil Science*, 12(3), 145-158.

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: "EFECTO DEL ECOCARBÓN DE MADERA EN EL CAMBIO DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN SUELO DEGRADADO DE PUCALLPA".

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES
¿Cuál es el efecto del ecocarbón de la madera que genera Cambio de algunas propiedades físicas y químicas de un suelo degradado de Pucallpa?	Determinar el efecto del ecocarbón de la madera que genera cambio de algunas propiedades físicas y químicas de un suelo degradad de Pucallpa	La adición de ecocarbón de la madera genera cambios significativos en algunas propiedades físicas y químicas de un suelo degradad de Pucallpa	**Independientes** Dosis del ecocarbon de la madera **Dependientes** Cambio de algunas propiedades física y química de un suelo degradado de Pucallpa	Dosis de aplicación de ecocarbon Cambio de algunas propiedades físicas a los 30,60 y 90 días Cambio de algunas propiedades químicas a los 30, 60 y 90 días	
¿Cuál es la dosis de ecocarbon que genera cambio en algunas propiedades físicas y químicas de suelo?	Evaluar la dosis de ecocarbon de la madera que genera cambios en algunas propiedades físicas y químicas de suelo	La adición de una de las dosis de ecocarbon genera cambio significativo en algunas propiedades físicas y químicas de suelo	Dosis de ecocarbon que genera algunos cambios en las propiedades físicas y químicas de un suelo	T1: Testigo T2: 0.25 kg/m2 T3: 0.50 kg/m2 T4: 0.75 kg/m2	Valor de algunas propiedades físicas y químicas por efecto de la dosis de aplicación del ecocarbon
¿Cómo cambia algunas propiedades físicas de un suelo degradado de Pucallpa a los 30, 60 y 90 días?	Analizar el cambio de algunas propiedades físicas de un suelo degradado de Pucallpa a los 30, 60 y 90 días	La adición de ecocarbon no genera cambio en algunas propiedades físicas de un suelo degradado de Pucallpa a los 30, 60 y 90 días	Cambio de algunas propiedades físicas del suelo degradado de Pucallpa a los 30, 60 y 90 días	Textura	
¿Cómo cambia algunas propiedades químicas de un suelo degradado de Pucallpa a los 30 y 60 días?	Analizar el cambio de algunas propiedades químicas de un suelo degradado de Pucallpa a los 30, 60 y 90 días	La adición de ecocarbon no genera cambios en algunas propiedades químicas de un suelo degradado de Pucallpa a los 30, 60 y 90 días	Cambio de algunas propiedades químicas del suelo degradado de Pucallpa a los 30, 60 y 90 días	pH Materia orgânica N P K Ca Mg Al CICe PSB PAC	

ANEXO 2

ANÁLISIS DEL SUELO PREVIO A LA APLICACIÓN DE DOSIS DE ECOCARBÓN

Instituto Nacional de Innovación Agraria

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 200

INACAL DA - Perú

INFORME DE ENSAYO
N° 07064-23/SU/ LABSAF - PUCALLPA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: UNU
Propietario / Productor	: UNU
Dirección del cliente	: Car. FEDERICO BASADRE Km 5, UCAYALI
Solicitado por	: UNU
Muestreado por	: Cliente
Número de muestra(s)	: 1
Producto declarado	: Suelo
Presentación de las muestras(s)	: Bolsa de plástico
Referencia del muestreo	: Reservado por el cliente
Procedencia de muestra(s)	: AREA EXPERIENTAL UNU
Fecha(s) de muestreo	: 2022-10-08 (*)
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2023-06-08
Lugar de ensayo	: LABSAF Pucallpa
Fecha(s) de análisis	: del 11/07/2023 al 14/07/2023
Cotización del servicio	: 110-23-PC
Fecha de emisión	: 2023-07-14

II. RESULTADO DE ANALISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			SU0531-PC-23					
Matriz Analizada			Suelo					
Fecha de Muestreo			2022-10-08					
Hora de Inicio de Muestreo (h) (*)			13:47					
Condición de la muestra			Conservada					
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (*)			MILAGROS RUIZ					
Ensayo	**Unidad**	**LC**	**Resultados**					
pH	--	0,1	5,5					
Conductividad eléctrica	mS/m	1,0	1,8					
Materia orgánica (**)	%	--	1,2					
Nitrógeno total (**)	%	--	0,06					
Fósforo disponible (**)	mg/kg	--	5,20					
Potasio disponible (**)	ppm	--	31,00					
Al + H (**)	Cmol(+)/kg	--	0,00					

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265, First Edition. 1994. Soil Quality. Determination of the Specific Electrical Conductivity
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). item 7.1.9 AS-09.2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). item 7.1.7 AS-07. 2000. Contenido de Materia Organica por el método de Walkley y Black.
Nitrógeno total	Por cálculo a partir de la determinación de la materia organica. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). item 7.1.7 AS-07. 2000. Contenido de Materia Organica por el método de Walkley y Black.
Fósforo disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). item 7.1.11 AS-11.2000. Determinación de fosforo método Bray
Potasio disponible	Extración con H2SO4 6N. Lectura en espectrofotómetro de absorción atómica
Al + H	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). item 7.1.7 AS-33. 2000. Determinación de acides y aluminio intercambiables por el procedimiento de cloruro de potasio.

ANEXO 3

ANÁLISIS DE SUELO A 30 DÍAS DE APLICADO EL ECOCARBÓN

(INFORME N° 0013-23SU/LABSAF-PUCALLPA)

inia
Instituto Nacional de Innovación Agraria

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 200

INACAL

INFORME DE ENSAYO
N° 00013-23/SU/ LABSAF - PUCALLPA

I. INFORMACION GENERAL

Cliente	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
Propietario / Productor	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
Dirección del cliente	: CARRETERA FEDERICO BASADRE Km 6.2 / CALLERIA / CORONEL PORTILLO / UCAYALI
Solicitado por	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
Muestreado por	: Cliente
Número de muestra(s)	: 16
Producto declarado	: Suelo Agricola
Presentación de las muestras(s)	: Bolsa de plastico
Referencia del muestreo	: Reservado por el cliente
Procedencia de muestra(s)	: CARRETERA FEDERICO BASADRE Km 6.2
Fecha(s) de muestreo	: 2022-10-10 (*)
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2023-01-25
Lugar de ensayo	: LABSAF Pucallpa
Fecha(s) de análisis	: del 06/02/2023 al 10/02/2023
Cotización del servicio	: 13-23-PC
Fecha de emisión	: 2023-02-17

II. RESULTADO DE ANALISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			SU-056-PC-23	SU-057-PC-23	SU-058-PC-23	SU-059-PC-23	SU-060-PC-23	SU-061-PC-23
Matriz Analizada			Suelo Agricola	Suelo Agricola	Suelo Agricola	Suelo Agricola	Suelo Agricola	Suelo Agricola
Fecha de Muestreo (*)			10/10/2022	10/10/2022	10/10/2022	10/10/2022	10/10/2022	10/10/2022
Hora de Inicio de Muestreo (h) (*)			9:00	9:00	9:00	9:00	9:00	9:00
Condición de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (*)			R1-T1	R2-T1	R3-T1	R4-T1	R1-T2	R2-T2
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	–	0.1	5.7	5.3	5.6	5.5	5.6	5.6
Conductividad eléctrica	mS/m	1.0	1.5	0.5	0.6	1.6	0.4	1.1
Materia orgánica (**)	%	–	3.04	3.15	3.22	2.44	2.06	2.69
Nitrógeno (**)	%	–	0.15	0.16	0.16	0.12	0.10	0.13
Fósforo (**)	mg/kg	–	4.84	4.81	4.89	4.70	8.80	8.35
Potasio (**)	Cmol(+)/kg	–	0.36	0.24	0.40	0.25	0.18	0.32
Calcio (**)	Cmol(+)/kg	–	5.33	4.08	3.93	4.66	3.72	3.72
Magnesio (**)	Cmol(+)/kg	–	3.12	2.70	2.38	2.08	2.19	2.36
Aluminio (**)	Cmol(+)/kg	–	0.40	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
CICe (**)	Cmol(+)/kg	–	9.20	7.31	7.00	7.28	6.39	6.70
Bases Totales (**)	Cmol(+)/kg	–	8.80	7.01	6.70	6.98	6.09	6.40
Saturación Al (**)	%	–	4.35	4.10	4.29	4.12	4.69	4.48
Textura (**)								
Arena	%	–	32.82	44.82	46.82	34.82	38.82	48.82
Limo	%	–	37.35	25.35	25.35	33.35	33.35	23.35
Arcilla	%	–	29.83	29.83	27.83	31.83	27.83	27.83
Clase Textural	–	–	FrancoArcilloso	FrancoArcilloso	FrancoArcilloArenoso	FrancoArcilloso	FrancoArcilloso	FrancoArcilloArenoso

Laboratorio de Suelos y Aguas
LABSAF

INFORME DE ENSAYO
N° 00013-23/SU/ LABSAF - PUCALLPA

ITEM			7	8	9	10	11	12
Código de Laboratorio			SU-062-PC-23	SU-063-PC-23	SU-064-PC-23	SU-065-PC-23	SU-066-PC-23	SU-067-PC-23
Matriz Analizada			Suelo Agrícola	Suelo Agrícola	Suelo Agrícola	Suelo Agrícola	Suelo Agrícola	Suelo Agrícola
Fecha de Muestreo			10/10/2022	10/10/2022	10/10/2022	10/10/2022	10/10/2022	10/10/2022
Hora de Inicio de Muestreo (h) (*)			9:00	9:00	9:00	9:00	9:00	9:00
Condición de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (*)			R3-T2	R4-T2	R1-T3	R2-T3	R3-T3	R4-T3
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	–	0.1	5.6	5.3	5.6	5.4	5.9	5.3
Conductividad eléctrica	mS/m	1.0	1.0	0.1	2.1	0.3	0.2	0.5
Materia orgánica (**)	%	–	2.97	1.39	2.43	1.60	2.47	2.10
Nitrógeno (**)	%	–	0.15	0.07	0.12	0.08	0.12	0.10
Fósforo (**)	mg/kg	–	8.76	8.97	46.93	4.31	50.74	7.74
Potasio (**)	Cmol(+)/kg	–	0.36	0.24	0.40	0.25	0.18	0.32
Calcio (**)	Cmol(+)/kg	–	4.40	3.24	3.88	3.29	4.40	2.86
Magnesio (**)	Cmol(+)/kg	–	2.51	1.63	2.28	1.93	2.58	1.58
Aluminio (**)	Cmol(+)/kg	–	0.40	0.40	0.30	0.50	0.30	0.40
CICe (**)	Cmol(+)/kg	–	7.67	5.50	6.85	5.97	7.46	5.16
Bases Totales (**)	Cmol(+)/kg	–	7.27	5.10	6.55	5.47	7.16	4.76
Saturación Al (**)	%	–	5.22	7.27	4.38	8.37	4.02	7.75
Textura (**)								
Arena	%	–	40.82	38.82	40.82	34.82	46.82	38.82
Limo	%	–	33.35	31.35	33.35	33.35	27.35	33.35
Arcilla	%	–	25.83	29.83	25.83	31.83	25.83	27.83
Clase Textural	–	–	Franco	FrancoArcilloso	Franco	FrancoArcilloso	Franco	FrancoArcilloso

ITEM			13	14	15	16	17	18
Código de Laboratorio			SU-068-PC-23	SU-069-PC-23	SU-070-PC-23	SU-071-PC-23		
Matriz Analizada			Suelo Agrícola	Suelo Agrícola	Suelo Agrícola	Suelo Agrícola		
Fecha de Muestreo			10/10/2022	10/10/2022	10/10/2022	10/10/2022		
Hora de Inicio de Muestreo (h) (*)			9:00	9:00	9:00	9:00		
Condición de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (*)			R1-T4	R2-T4	R3-T4	R4-T4		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	–	0.1	5.6	5.8	5.4	5.4		
Conductividad eléctrica	mS/m	1.0	0.6	0.2	0.5	0.4		
Materia orgánica (**)	%	–	2.51	2.78	2.97	2.52		
Nitrógeno (**)	%	–	0.13	0.14	0.15	0.13		
Fósforo (**)	mg/kg	–	43.13	57.97	23.09	23.59		
Potasio (**)	Cmol(+)/kg	–	0.36	0.62	0.27	0.21		
Calcio (**)	Cmol(+)/kg	–	3.51	4.66	3.16	3.56		
Magnesio (**)	Cmol(+)/kg	–	2.17	2.86	2.08	2.02		
Aluminio (**)	Cmol(+)/kg	–	0.30	0.30	0.50	0.30		
CICe (**)	Cmol(+)/kg	–	6.34	8.44	6.00	6.08		
Bases Totales (**)	Cmol(+)/kg	–	6.04	8.14	5.50	5.78		
Saturación Al (**)	%	–	4.74	3.56	8.34	4.93		
Textura (**)								
Arena	%	–	40.82	40.82	38.82	38.82		
Limo	%	–	33.35	31.35	35.35	33.35		
Arcilla	%	–	25.83	27.83	25.83	27.83		
Clase Textural	–	–	Franco	FrancoArcilloso	Franco	FrancoArcilloso		

Pro Suelos y Aguas
LABSAF

ANEXO 4

ANÁLISIS DE SUELO A 60 DÍAS DE APLICADO EL ECOCARBÓN

(INFORME N° 0022-23SU/LABSAF-PUCALLPA)

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 200

INFORME DE ENSAYO
N° 00022-23/SU/ LABSAF - PUCALLPA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
Propietario / Productor	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
Dirección del cliente	: CARRETERA FEDERICO BASADRE Km 6.2 / CALLERIA / CORONEL PORTILLO / UCAYALI
Solicitado por	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
Muestreado por	: Cliente
Número de muestra(s)	: 16
Producto declarado	: Suelo Agricola
Presentación de las muestras(s)	: Bolsa de plastico
Referencia del muestreo	: Reservado por el cliente
Procedencia de muestra(s)	: CARRETERA FEDERICO BASADRE Km 6.2
Fecha(s) de muestreo	: 2023-02-27 (*)
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2023-03-09
Lugar de ensayo	: LABSAF Pucallpa
Fecha(s) de análisis	: del 15/03/2023 al 21/03/2023
Cotización del servicio	: 37-23-PC
Fecha de emisión	: 2023-03-24

II. RESULTADO DE ANALISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			SU0369-PC-23	SU0370-PC-23	SU0371-PC-23	SU0372-PC-23	SU0373-PC-23	SU0374-PC-23
Matriz Analizada			Suelo Agricola	Suelo Agricola	Suelo Agricola	Suelo Agricola	Suelo Agricola	Suelo Agricola
Fecha de Muestreo (*)			2023-03-09	2023-03-09	2023-03-09	2023-03-09	2023-03-09	2023-03-09
Hora de Inicio de Muestreo (h) (*)			8:10	8:40	9:10	9:40	10:10	10:40
Condición de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (*)			T1R1	T1R2	T1R3	T1R4	T2R1	T2R2
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	--	0,1	5,4	5,5	6,1	5,7	6,3	6,4
Conductividad eléctrica	mS/m	1,0	0,2	0,4	0,8	0,2	0,3	0,8
Materia orgánica (**)	%	--	2,62	2,65	2,36	4,82	4,11	4,69
Nitrogeno	%	--	0,13	0,13	0,12	0,24	0,21	0,23
Fosforo (**)	mg/kg	--	4,62	4,28	4,44	4,34	19,72	19,41
Potasio (**)	Cmol(+)/kg	--	0,05	0,24	0,81	0,13	0,17	0,27
Calcio (**)	Cmol(+)/kg	--	3,52	5,08	6,08	4,58	6,08	8,60
Magnesio (**)	Cmol(+)/kg	--	2,60	4,40	3,67	3,13	1,87	2,53
Aluminio (**)	Cmol(+)/kg	--	0,20	0,20	0,40	0,40	0,80	0,60
CICe (**)	Cmol(+)/kg	--	6,37	9,92	10,95	8,22	8,92	12,01
Bases Totales (**)	Cmol(+)/kg	--	6,17	9,72	10,55	7,82	8,12	11,41
Saturación Al (**)	%	--	3,14	2,02	3,65	4,87	8,97	5,00
Textura (**)								
Arena	%	--	42,60	48,60	52,60	48,60	50,60	48,60
Limo	%	--	27,50	33,50	27,50	31,50	31,50	31,50
Arcilla	%	--	29,90	17,90	19,90	19,90	17,90	19,90
Clase Textural	---	--	FrancoArcilloso	Franco	FrancoArenoso	Franco	Franco	Franco

Suelos y Aguas LABSAF

INFORME DE ENSAYO

N° 00022-23/SU/ LABSAF - PUCALLPA

ITEM			7	8	9	10	11	12
Código de Laboratorio			SU0375-PC-23	SU0376-PC-23	SU0377-PC-23	SU0378-PC-23	SU0379-PC-23	SU0380-PC-23
Matriz Analizada			Suelo Agricola	Suelo Agricola	Suelo Agricola	Suelo Agricola	Suelo Agricola	Suelo Agricola
Fecha de Muestreo			2023-03-09	2023-03-09	2023-03-09	2023-03-09	2023-03-09	2023-03-09
Hora de Inicio de Muestreo (h) (*)			11:40	12:20	13:00	13:40	14:20	15:00
Condición de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (*)			T2R3	T2R4	T3R1	T3R2	T3R3	T3R4
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	--	0,1	7,1	6,9	6,7	7,0	6,8	6,8
Conductividad eléctrica	mS/m	1,0	0,6	0,4	0,3	0,8	0,5	0,7
Materia orgánica (**)	%	--	2,62	2,65	2,36	4,82	4,11	4,69
Nitrogeno	%	--	0,13	0,13	0,12	0,24	0,21	0,23
Fósforo (**)	mg/kg	--	19,45	19,70	13,70	74,08	9,77	43,51
Potasio (**)	Cmol(+)/kg	--	0,84	0,48	0,17	1,12	0,49	0,61
Calcio (**)	Cmol(+)/kg	--	6,60	8,12	7,08	7,60	5,56	5,08
Magnesio (**)	Cmol(+)/kg	--	2,93	2,07	1,87	3,80	2,47	2,67
Aluminio (**)	Cmol(+)/kg	--	0,40	0,80	0,60	0,40	0,60	0,40
CICe (**)	Cmol(+)/kg	--	10,78	11,07	9,42	12,72	8,82	8,56
Bases Totales (**)	Cmol(+)/kg	--	10,38	10,67	9,12	12,52	8,52	8,36
Saturación Al (**)	%	--	3,71	3,61	3,19	1,57	3,40	2,34
Textura (**)								
Arena	%	--	50,60	52,60	52,60	50,60	50,60	52,60
Limo	%	--	29,50	29,50	29,50	31,50	31,50	29,50
Arcilla	%	--	19,90	17,90	17,90	17,90	17,90	17,90
Clase Textural	--	--	Franco	FrancoArenoso	FrancoArenoso	Franco	Franco	FrancoArenoso

ITEM			13	14	15	16	17	18
Código de Laboratorio			SU0381-PC-23	SU0382-PC-23	SU0383-PC-23	SU0384-PC-23		
Matriz Analizada			Suelo Agricola	Suelo Agricola	Suelo Agricola	Suelo Agricola		
Fecha de Muestreo			2023-03-09	2023-03-09	2023-03-09	2023-03-09		
Hora de Inicio de Muestreo (h) (*)			15:20	15:40	16:00	16:20		
Condición de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (*)			T4R1	T4R2	T4R3	T4R4		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	--	0,1	7,0	6,9	6,8	7,1		
Conductividad eléctrica	mS/m	1,0	0,7	0,5	1,0	1,0		
Materia orgánica (**)	%	--	4,16	4,10	3,72	4,74		
Nitrogeno	%	--	0,21	0,20	0,19	0,24		
Fósforo (**)	mg/kg	--	71,42	16,24	29,18	31,97		
Potasio (**)	Cmol(+)/kg	--	0,52	0,45	1,04	0,96		
Calcio (**)	Cmol(+)/kg	--	5,56	5,56	4,56	6,08		
Magnesio (**)	Cmol(+)/kg	--	3,07	2,67	3,80	3,47		
Aluminio (**)	Cmol(+)/kg	--	0,40	0,40	0,20	0,40		
CICe (**)	Cmol(+)/kg	--	9,55	9,07	9,60	10,91		
Bases Totales (**)	Cmol(+)/kg	--	9,15	8,67	9,40	10,51		
Saturación Al (**)	%	--	4,19	4,41	2,08	3,67		
Textura (**)								
Arena	%	--	52,60	52,60	52,60	52,60		
Limo	%	--	31,50	31,50	31,50	29,50		
Arcilla	%	--	15,90	15,90	15,90	17,90		
Clase Textural	---	--	FrancoArenoso	FrancoArenoso	FrancoArenoso	FrancoArenoso		

Pro Suelos y Aguas
LABSAF

ANEXO 5

ANÁLISIS DE SUELO A 90 DÍAS DE APLICADO EL ECOCARBÓN

(INFORME N° 0045-23SU/LABSAF-PUCALLPA)

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 200

INFORME DE ENSAYO
N° 00045-23/SU/ LABSAF - PUCALLPA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
Propietario / Productor	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
Dirección del cliente	: CARRETERA FEDERICO BASADRE KM 6,2 PUCALLPA
Solicitado por	: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
Muestreado por	: Cliente
Número de muestra(s)	: 16
Producto declarado	: Suelo agricola
Presentación de las muestras(s)	: Bolsa de plástico
Referencia del muestreo	: Reservado por el cliente
Procedencia de muestra(s)	: CARRETERA FEDERICO BASADRE KM 6,2 PUCALLPA
Fecha(s) de muestreo	: 2023-04-14 (*)
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2023-05-05
Lugar de ensayo	: LABSAF Pucallpa
Fecha(s) de análisis	: del 10/05/2023 al 16/05/2023
Cotización del servicio	: 72-23-PC
Fecha de emisión	: 2023-05-22

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			SU0469-PC-23	SU0470-PC-23	SU0471-PC-23	SU0472-PC-23	SU0473-PC-23	SU0474-PC-23
Matriz Analizada			Suelo agricola	Suelo agricola	Suelo agricola	Suelo agricola	Suelo agricola	Suelo agricola
Fecha de Muestreo (*)			14/04/2023	14/04/2023	14/04/2023	14/04/2023	14/04/2023	14/04/2023
Hora de Inicio de Muestreo (h) (*)			15:00	15:20	15:40	16:00	16:20	16:40
Condición de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (*)			T1R1	T1R2	T1R3	T1R4	T2R1	T2R2
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	---	0,1	5,0	5,4	6,1	5,9	5,9	6,2
Conductividad eléctrica	mS/m	1,0	1,0	1,6	1,4	1,0	1,4	1,3
Materia orgánica (**)	%	--	1,70	1,50	1,60	1,70	1,30	1,90
Nitrógeno (**)	%	--	0,09	0,08	0,08	0,09	0,07	0,10
Fósforo disponible (**)	mg/kg	--	4,68	4,17	4,32	4,19	36,19	35,98
Potasio (**)	Cmol(+)/kg	--	0,13	0,19	0,09	0,83	0,36	0,85
Calcio (**)	Cmol(+)/kg	--	2,87	2,51	3,97	2,99	3,15	4,30
Magnesio (**)	Cmol(+)/kg	--	2,25	1,58	2,44	2,17	1,85	2,11
Al + H (**)	Cmol(+)/kg	--	0,30	0,30	0,30	0,30	0,50	0,10
CICe (**)	Cmol(+)/kg	--	5,35	4,58	6,80	6,29	5,66	7,36
Bases Totales (**)	Cmol(+)/kg	--	5,05	4,28	6,50	5,99	5,16	7,26
Saturación Al (**)	%	--	5,61	6,55	4,41	4,77	8,83	1,36
Textura (**)								
Arena	%	--	42,02	42,02	44,02	34,02	40,02	44,02
Arcilla	%	--	17,42	23,42	19,42	21,42	19,42	17,42
Limo	%	--	40,56	34,56	36,56	44,56	40,56	40,56
Clase Textural	---	--	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco

INFORME DE ENSAYO
N° 00045-23/SU/ LABSAF - PUCALLPA

ITEM			7	8	9	10	11	12
Código de Laboratorio			SU0475-PC-23	SU0476-PC-23	SU0477-PC-23	SU0478-PC-23	SU0479-PC-23	SU0480-PC-23
Matriz Analizada			Suelo agrícola	Suelo agrícola	Suelo agrícola	Suelo agrícola	Suelo agrícola	Suelo agrícola
Fecha de Muestreo			14/04/2023	14/04/2023	14/04/2023	14/04/2023	14/04/2023	14/04/2023
Hora de Inicio de Muestreo (h) (*)			17:00	17:10	17:20	17:30	17:40	17:50
Condición de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (*)			T2R3	T2R4	T3R1	T3R2	T3R3	T3R4
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	--	0,1	6,5	6,5	6,6	6,4	6,4	6,5
Conductividad eléctrica	mS/m	1,0	1,1	1,3	0,9	1,0	1,1	1,5
Materia orgánica (**)	%	--	1,70	1,70	1,80	2,30	1,90	1,80
Nitrógeno (**)	%	--	0,09	0,09	0,09	0,12	0,10	0,09
Fósforo disponible (**)	mg/kg	--	36,15	36,04	51,36	24,96	14,00	43,45
Potasio (**)	Cmol(+)/kg	--	0,83	0,29	0,90	0,27	0,34	0,89
Calcio (**)	Cmol(+)/kg	--	4,14	4,80	4,63	4,14	4,30	3,81
Magnesio (**)	Cmol(+)/kg	--	1,32	1,38	2,04	1,45	1,12	1,32
Al + H (**)	Cmol(+)/kg	--	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
CICe (**)	Cmol(+)/kg	--	6,58	8,77	7,87	6,16	6,06	6,32
Bases Totales (**)	Cmol(+)/kg	--	6,29	6,47	7,57	5,86	5,76	6,02
Saturación Al (**)	%	--	4,55	4,43	3,81	4,87	4,95	4,75
Textura (**)								
Arena	%	--	42,02	42,02	46,02	42,02	46,02	48,02
Limo	%	--	19,42	19,42	17,42	17,42	19,42	17,42
Arcilla	%	--	38,56	38,56	36,56	36,56	34,56	34,56
Clase Textural	---	--	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco	Franco

ITEM			13	14	15	16	17	18
Código de Laboratorio			SU0481-PC-23	SU0482-PC-23	SU0483-PC-23	SU0484-PC-23		
Matriz Analizada			Suelo agrícola	Suelo agrícola	Suelo agrícola	Suelo agrícola		
Fecha de Muestreo			14/04/2023	14/04/2023	14/04/2023	14/04/2023		
Hora de Inicio de Muestreo (h) (*)			18:00	18:20	18:30	18:50		
Condición de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (*)			T4R1	T4R2	T4R3	T4R4		
Ensayo	Unidad	LC						
pH	--	0,1	6,6	6,6	6,7	6,7		
Conductividad eléctrica	mS/m	1,0	1,5	5,9	7,8	5,8		
Materia orgánica (**)	%	--	1,90	2,60	3,70	2,60		
Nitrógeno (**)	%	--	0,10	0,13	0,19	0,13		
Fósforo disponible (**)	mg/kg	--	51,23	35,29	40,77	20,50		
Potasio (**)	Cmol(+)/kg	--	0,96	0,64	0,82	0,64		
Calcio (**)	Cmol(+)/kg	--	4,30	3,81	3,64	3,65		
Magnesio (**)	Cmol(+)/kg	--	1,71	1,58	1,97	2,04		
Al + H (**)	Cmol(+)/kg	--	0,30	0,30	0,30	0,30		
CICe (**)	Cmol(+)/kg	--	7,27	6,33	6,73	6,63		
Bases Totales (**)	Cmol(+)/kg	--	6,97	6,03	6,43	6,33		
Saturación Al (**)	%	--	4,13	4,74	4,46	4,52		
Textura (**)								
Arena	%	--	46,02	44,02	46,02	46,02		
Limo	%	--	19,42	17,42	17,42	17,42		
Arcilla	%	--	34,56	38,56	36,56	36,56		
Clase Textural	---	--	Franco	Franco	FrancoArenoso	FrancoArcilloso Arenoso		

Pro Suelos y Aguas
LABSAF

ANEXO 6

ANÁLISIS DEL ECOCARBÓN DE MADERA USADO EN EL ENSAYO (INFORME N° 07010/23/AB/LABSAF-PUCALLPA)

Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 07010-23/AB/ LABSAF - PUCALLPA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: UNU
Propietario / Productor	: UNU
Dirección del cliente	: Car. FEDERICCO BASADRE Km 6 UCAYALI
Solicitado por	: UNU
Muestreado por	: Cliente
Número de muestra(s)	: 1
Producto declarado	: Abono orgánico
Presentación de las muestras(s)	: Bolsa de plastico
Referencia del muestreo	: Reservado por el cliente
Procedencia de muestra(s)	: UNIDAD EXPERIMENTAL - UNU
Fecha(s) de muestreo	: 2023-06-01 (*)
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2023-06-02
Lugar de ensayo	: LABSAF Pucallpa
Fecha(s) de análisis	: del 02/05/2023 al 3/07/2023
Cotización del servicio	: 094-23-PC
Fecha de emisión	: 2023-07-013

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			AB0023-PC-23					
Matriz Analizada			Abono orgánico					
Fecha de Muestreo			2023-06-01					
Hora de Inicio de Muestreo (h)			09:00					
Condición de la muestra			Conservada					
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente			BIOCHAR					
Ensayo	**Unidad**	**LC**	**Resultados**					
pH (**)	Unid. pH	0,1	7,1					
Conductividad eléctrica (**)	mS/m	1,0	1.644,0					
Carbono (**)	%	--	0,58					
Nitrogeno total (**)	%	--	8,43					
Fosforo disponible (**)	%	--	0,03					
Calcio (**)	%	--	0,73					
Magnesio (**)	%	--	0,49					
Potasio (**)	%	--	0,64					

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045 D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH
Conductividad eléctrica	NTP 214.049: 2015. Determinación de conductividad eléctrica
Carbono ogánico	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). item 7.1.7 AS-07. 2000. Contenido de Materia Organica por el método de Walkley y Black.
Nitrogeno total	Determinación de nitrogeno total por combustión completa (Análisis elemental)
Fosforo disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). item 7.1.11 AS-11.2000. Determinación de fosforo método Bray
Calcio	Norma Técnica Colombianan 5167. Cuantificación de calcio, potasio, magnesio, en abonos organicos con acetato de amonio 1N.
Magnesio	Norma Técnica Colombianan 5167. Cuantificación de calcio, potasio, magnesio, en abonos organicos con acetato de amonio 1N.
Sodio	Norma Técnica Colombianan 5167. Cuantificación de calcio, potasio, magnesio, en abonos organicos con acetato de amonio 1N.
Potasio	Norma Técnica Colombianan 5167. Cuantificación de calcio, potasio, magnesio, en abonos organicos con acetato de amonio 1N.

Pro Suelos y Aguas LABSAF

ANEXO 7

TABLAS DE ANÁLISIS DE VARIANZA

Tabla 1A

ANVA de materia orgánica a los 30 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	1.270	0.4233	3.10	0.08 ^{ns}
Tratamientos	3	1.688	0.5628	4.12	0.04 ^{ns}
Error	9	1.228	0.1365		
Total	15	4.187			
	CV = 14.65 %			R^2 = 0.70	

Tabla 2A

ANVA de materia orgánica a los 60 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	3.226	1.075	1.16	0. 379
Tratamientos	3	2.783	0.927	1.00	0.437
Error	9	8.378	0.930		
Total	15	14.387			
	CV =26.0 %			R^2 = 0.41	

Tabla 3A

ANVA de materia orgánica a los 90 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	3.226	1.075	1.16	0. 379
Tratamientos	3	2.783	0.927	1.00	0.437
Error	9	8.378	0.930		
Total	15	14.387			
	CV =26.0 %			R^2 = 0.41	

Tabla 4A

ANVA de pH del suelo a los 30 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.167	0.0558	1.63	0.24 ^{ns}
Tratamientos	3	0.002	0.0008	0.02	0.99 ^{ns}
Error	9	0.307	0.0341		
Total	15	0.477			
	CV = 3.33 %		R^2 = 0.35		

Tabla 5A

ANVA de pH del suelo a los 60 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.306	0.102	1.75	0.2261
Tratamientos	3	4.061	1.353	23.18	0.0001
Error	9	0.525	0.058		
Total	15	4.894			
	CV =3.7 %		R^2 = 0.89		

Tabla 6A

ANVA de pH del suelo a los 90 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.455	0.1516	2.39	0.13 ^{ns}
Tratamientos	3	2.535	0.8450	13.34	0.001**
Error	9	0.570	0.0633		
Total	15	3.560			
	CV = 4.02 %		R^2 = 0.83		

Tabla 7A

ANVA de N total a los 30 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.0032	0.0010	3.32	0.087^{ns}
Tratamientos	3	0.0032	0.0016	5.03	0.02 ^{ns}
Error	9	0.0029	0.0003		
Total	15	0.0109			
	CV = 14.38 %			R^2 = 0.73	

Tabla 8A

ANVA de N total a los 60 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.006	0.002	0.98	0.443
Tratamientos	3	0.007	0.002	1.11	0.393
Error	9	0.021	0.002		
Total	15	0.036			
	CV =26.2 %			R^2 = 0.41	

Tabla 9A

ANVA de N total a los 90 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.0016	0.0005	1.38	0.332^{ns}
Tratamientos	3	0.0070	0.0023	5.57	0.01 **
Error	9	0.0038	0.0004		
Total	15	0.0125			
	CV = 20.04 %			R^2 = 0.69	

Tabla 10A

ANVA de P disponible a los 30 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	982.95	327.65	1.11	0.39 ^{ns}
Tratamientos	3	629.46	209.82	0.71	0.56 ^{ns}
Error	9	2647.62	294.18		
Total	15	4260.04			
	CV = 62.8 %		R^2 = 0.37		

Tabla 11A

ANVA de P disponible a los 60 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	427.29	142.43	0.15	0.927
Tratamientos	3	2029.23	676.41	0.71	0.570
Error	9	8579.01	953.22		
Total	15	11035.54			
	CV = 61.9 %		R^2 = 0.22		

Tabla 12A

ANVA de P disponible a los 90 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	1132.71	377.57	1.36	0.31 ^{ns}
Tratamientos	3	148.99	49.66	0.18	0.90 ^{ns}
Error	9	2489.69	276.63		
Total	15	3771.41			
	CV =40.06 %		R^2 = 0.33		

Tabla 13A

ANVA de K cambiable a los 30 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.0222	0.0074	0.47	0.70 ^{ns}
Tratamientos	3	0.0190	0.0063	0.41	0.75 ^{ns}
Error	9	0.1411	0.0156		
Total	15	0.1824			
	CV = 40.39 %			R^2 = 0.22	

Tabla 14A

ANVA de K cambiable a los 60 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.647	0.215	2.74	0.105
Tratamientos	3	0.428	0.142	1.81	0.215
Error	9	0.709	0.078		
Total	15	1.784			
	CV = 53.7 %			R^2 = 0.60	

Tabla 15A

ANVA de K cambiable a los 90 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.072	0.024	0.22	0.88 ^{ns}
Tratamientos	3	0.426	0.142	1.30	0.33 ^{ns}
Error	9	0.984	0.109		
Total	15	1.482			
	CV = 58.59 %			R^2 = 0.33	

Tabla 16A

ANVA de Ca cambiable a los 30 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.6126	0.2042	0.47	0.71 ^{ns}
Tratamientos	3	1.9758	0.6586	1.51	0.27 ^{ns}
Error	9	3.9147	0.4349		
Total	15	6.5032			
	CV = 16.91 %			R^2 = 0.39	

Tabla 17A

ANVA de Ca cambiable a los 60 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	3.153	1.051	0.94	0.462
Tratamientos	3	14.661	4.887	4.35	0.037
Error	9	10.108	1.123		
Total	15	27.922			
	CV =17.7 %			R^2 = 0.63	

Tabla 18A

ANVA de Ca cambiable a los 90 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.288	0.093	0.27	0.843 ^{ns}
Tratamientos	3	3.410	1.136	3.33	0.070 ^{ns}
Error	9	3.076	0.341		
Total	15	6.766			
	CV =15.38 %			R^2 = 0.54	

Tabla 19A

ANVA de Mg cambiable a los 30 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	1.1008	0.3669	3.45	0.06 ^{ns}
Tratamientos	3	0.5232	0.1744	1.64	0.24 ^{ns}
Error	9	0.9563	0.1062		
Total	15	2.5804			
	CV = 14.30 %			R^2 = 0.62	

Tabla 20A

ANVA de Mg cambiable a los 60 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	2.405	0.801	2.65	0.112 ^{ns}
Tratamientos	3	3.049	1.016	3.36	0.068 *
Error	9	2.720	0.302		
Total	15	8.174			
	CV =18.7 %			R^2 = 0.66	

Tabla 21A

ANVA de Mg cambiable a los 90 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.131	0.04	0.31	0.81 ^{ns}
Tratamientos	3	0.898	0.299	2.11	0.16 ^{ns}
Error	9	1.279	0.142		
Total	15	2.310			
	CV = 21.44 %			R^2 = 0.44	

Tabla 22A

ANVA de Al cambiable a los 30 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.0050	0.0016	0.21	0.88 ^{ns}
Tratamientos	3	0.0050	0.0016	0.21	0.88 ^{ns}
Error	9	0.0700	0.0077		
Total	15	0.0800			
	CV = 25.19 %			R^2 = 0.12	

Tabla 23A

ANVA de Al cambiable a los 60 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.067	0.022	1.00	0.436 ^{ns}
Tratamientos	3	0.267	0.089	3.96	0.047 *
Error	9	0.202	0.022		
Total	15	0.537			
	CV =32.4 %			R^2 = 0.62	

Tabla 24A

ANVA de Al cambiable a los 90 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.020	0.0066	1.00	0.436
Tratamientos	3	0.000	0.0000	0.00	0.00
Error	9	0.060	0.0066		
Total	15	0.0.80			
	CV =27.21 %			R^2 = 0.25	

Tabla 25A

ANVA de CIC del suelo a los 30 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	3.7216	1.2405	1.27	0.34 ^{ns}
Tratamientos	3	4.2273	1.4091	1.44	0.29 ^{ns}
Error	9	8.8238	0.9804		
Total	15	16.7727			
	CV = 14.48 %			R^2 = 0.47	

Tabla 26A

ANVA de CIC del suelo a los 60 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	11.45	3.816	1.84	0.210
Tratamientos	3	6.60	2.201	1.06	0.412
Error	9	18.67	2.075		
Total	15	36.73			
	CV =14.6 %			R^2 = 0.49	

Tabla 27A

ANVA de CIC del suelo a los 90 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	0.535	0.174	0.25	0.86 ^{ns}
Tratamientos	3	2.434	0.811	1.12	0.39 ^{ns}
Error	9	6.515	0.723		
Total	15	9.484			
	CV =13.24 %			R^2 = 0.31	

Tabla 28A

ANVA de PAC del suelo a los 30 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	4.5986	1.5328	0.49	0.69 ^{ns}
Tratamientos	3	7.5493	2.5164	0.80	0.52 ^{ns}
Error	9	28.1684	3.1298		
Total	15	40.3164			
	CV = 33.45 %			R^2 = 0.30	

Tabla 29A

ANVA de PAC del suelo a los 60 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	1.85	0.617	0.15	0.928
Tratamientos	3	131.03	0.678	10.46	0.002
Error	9	37.57	4.174		
Total	15	170.45			
	CV = 32.18 %			R^2 = 0.77	

Tabla 30A

ANVA de PAC del suelo a los 90 días después de la aplicación

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Repeticiones	3	3.538	1.179	0.37	0.77 ^{ns}
Tratamientos	3	1.768	0.589	0.19	0.90 ^{ns}
Error	9	28.494	3.166		
Total	15	33.801			
	CV = 37.09 %			R^2 = 0.15	