

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

“EFECTO DEL BIOCHAR DE MOLLE (*Schinus molle L.*) EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS, USANDO COMO INDICADOR EL MAÍZ (*Zea mays L.*), HUÁNUCO 2021”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL

AUTORA: Cervantes Ramos, Jhadyra Guadalupe

ASESOR: Salas Vizcarra, Cristian Joel

HUÁNUCO – PERÚ

2022

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Biotecnología y Nanotecnología

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería

Sub área: Ingeniería Ambiental

Disciplina: Ingeniería ambiental y geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Grado académico de bachiller en ingeniería ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 71848116

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 41135525

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

Código ORCID: 0000-0003-4745-4889

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Calixto Vargas, Simeon Edmundo	Maestro en administración de la educación	22471306	0000-0002-5114-4114
2	Cámara Llanos, Frank Erick	Maestro en ciencias de la salud con mención en: salud pública y docencia universitaria	44287920	0000-0001-9180-7405
3	Bonifacio Munguia, Jonathan Oscar	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	46378040	0000-0002-3013-8532

D

H



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

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

En la ciudad de Huánuco, siendo las 07:00 horas del día 28 del mes de febrero del año 2022, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron la sustentante y el **Jurado Calificador** mediante la plataforma Google Meet integrado por los docentes:

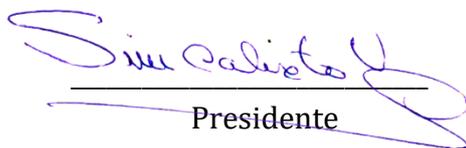
- Mg. Simeón Edmundo Calixto Vargas (Presidente)
- Mg. Frank Erick Cámara Llanos (Secretario)
- Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguia (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N°343-2022-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **"EFECTO DEL BIOCHAR DE MOLLE (*Schinus molle L.*) EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS, USANDO COMO INDICADOR EL MAÍZ (*Zea mays L.*), HUÁNUCO 2021"**, presentado por la Bach. **Jhadyra Guadalupe CERVANTES RAMOS**, para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental.

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

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

Siendo las 7:59 horas del día 28 del mes de febrero del año 2022, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



Presidente



Secretario



Vocal

DEDICATORIA

A Dios nuestro Señor, por darme la fortaleza necesaria para salir adelante y no desistir en cada paso de mi vida.

A mi madre Angélica Ramos, por ser mi mayor inspiración y ejemplo a seguir, por su apoyo y amor incondicional de siempre.

A mi hermana Jessica Cervantes, por confiar en mí y acompañarme en cada momento de mi vida.

A mi hija Alessia Gianna, por ser mi motor y motivo, el mayor tesoro de mi vida y mi fuente de motivación.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por proveerme de valentía, prudencia y sabiduría, para superar todos los obstáculos que se van presentando en mi camino y así lograr mis metas y objetivos (Josué 1:9).

A mi madre Angélica, por sus oraciones, amor, trabajo y sacrificio en todos estos años y que gracias a ello he podido llegar hasta aquí cumpliendo uno más de mis sueños.

A mi hermana Jessica, por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso y por estar conmigo en todo momento.

A mis tíos y tías, Juddy, Ángela, César, Abraham, Victor y Wilmer, por sus consejos y porque nunca se negaron a darme su apoyo para lograr la ejecución de mi proyecto de investigación.

A mis primos, Johan, Katherine, Nilthon y Pablo, por su apoyo moral y colaboración en el desarrollo de mi proyecto de investigación.

A mis amigos, Naíke, Erick y Raúl, por sus palabras de aliento y su apoyo en la ejecución de mi proyecto de investigación.

A mi asesor, Mg. Cristian Salas por brindarme su apoyo durante la ejecución de mi proyecto de investigación.

A mis jurados, Mg. Frank Cámara, Mg. Jonathan Bonifacio y Mg. Simeón Calixto, por compartirme sus conocimientos a lo largo de mi preparación profesional y orientarme en el desarrollo de mi proyecto de investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO I.....	14
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
1.1. Descripción del Problema	14
1.2. Formulación del Problema	15
1.2.1. Problema general.....	15
1.2.2. Problemas específicos	15
1.3. Objetivo General.....	15
1.4. Objetivos Específicos	16
1.5. Justificación de la Investigación	16
1.6. Limitaciones de la Investigación	17
1.7. Viabilidad de la Investigación.....	18
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes de la Investigación	19
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	19
2.1.2. Antecedentes nacionales	23
2.1.3. Antecedentes locales	26

2.2. Bases Teóricas.....	28
2.2.1. Biochar	28
2.2.8. Maíz (Zea mays L.)	52
2.2.9. Molle (Schinus molle L.)	53
2.3. Definiciones conceptuales	55
2.4. Sistema de Hipótesis.....	57
2.4.1. Hipótesis general.....	57
2.4.2. Hipótesis secundarias	58
2.5. Sistema de variables	58
2.5.1. Variable dependiente.....	58
2.5.2. Variable independiente.....	58
2.6. Operacionalización de variables	59
CAPÍTULO III.....	60
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	60
3.1. Tipo de investigación	60
3.1.1. Enfoque.....	60
3.1.2. Alcance o nivel	60
3.1.3. Diseño	60
3.2. Población y muestra	61
3.2.1. Población	61
3.2.2. Muestra	61
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	61
3.3.1. Para la recolección de datos.....	61
3.3.2 Para la presentación de datos.....	65
3.3.3 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	65
CAPÍTULO IV	66
RESULTADOS	66

4.1. Procesamiento de datos	66
4.2. Contratación de hipótesis y prueba de hipótesis	71
CAPÍTULO V	82
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	82
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES.....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de pirolisis y rendimientos típicos de productos.....	39
Tabla 2 Composición de un suelo superficial franco en buenas condiciones para el desarrollo vegetal.....	41
Tabla 3 Valores óptimos de la Capacidad de Intercambio catiónico de un suelo	47
Tabla 4 El pH del suelo y su relación con el crecimiento de la planta	48
Tabla 5 Tipos de degradación del suelo	51
Tabla 6 Clasificación científica del Schinus molle L.	54
Tabla 7 Coordenadas de ubicación del área de población en estudio.	61
Tabla 8 Las técnicas e instrumentos para la recolección de datos de la presente investigación de nivel aplicado	62
Tabla 9 Profundidad usada en el muestreo del suelo	64
Tabla 10 Características fisicoquímicas del suelo degradado antes de la aplicación del biochar de molle (Schinus molle L.).....	66
Tabla 11 Características fisicoquímicas del suelo degradado después de la aplicación del biochar de molle	67
Tabla 12 Características fisicoquímicas del suelo degradado calculando la diferencia (después – antes).....	68
Tabla 13 Características fisicoquímicas del biochar.....	69
Tabla 14 Prueba de normalidad de los datos con Kolmogorov-Smirnov	70
Tabla 15 Análisis de Varianza con un factor inter sujetos.	71
Tabla 16 Comparaciones múltiples	72
Tabla 17 Análisis de Varianza con un factor inter sujetos.	73
Tabla 18 Comparaciones múltiples	74
Tabla 19 Interpretación textural del suelo antes y después de la aplicación del biochar de molle (Schinus molle L.)	75
Tabla 20 Interpretación del pH del suelo antes y después de la aplicación del biochar de molle (Schinus molle L.)	75
Tabla 21 Interpretación de la materia orgánica (M.O) del suelo antes y después de la aplicación del biochar de molle (Schinus molle L.).....	76
Tabla 22 Interpretación del Nitrógeno (N) del suelo antes y después de la aplicación del biochar de molle (Schinus molle L.).....	77

Tabla 23 Interpretación del Fósforo disponible (P) del suelo antes y después de la aplicación del biochar de molle (Schinus molle L.)	78
Tabla 24 Interpretación del Potasio disponible (K) del suelo antes y después de la aplicación del biochar de molle (Schinus molle L.)	79
Tabla 25 Interpretación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo antes y después de la aplicación del biochar de molle (Schinus molle L.)	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Comparación del periodo de tiempo de residencia del carbono de la biomasa y del biochar en el suelo.	31
Figura 2 Representación del uso de la pirólisis de biomasa para generar energía y fijar carbono en el suelo.	34
Figura 3 Productos de la pirolisis	37
Figura 4 Diagrama para la determinación de la textura de un suelo.	43
Figura 5 Comparación de pH del suelo inicial y final, después de la aplicación del biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.)	76
Figura 6 Comparación de MO del suelo inicial y final, después de la aplicación del biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.)	77
Figura 7 Comparación de Nitrógeno del suelo inicial y final, después de la aplicación del biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.).....	78
Figura 8 Comparación de Fósforo del suelo inicial y final, después de la aplicación del biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.).....	79
Figura 9 Comparación de Potasio del suelo inicial y final, después de la aplicación del biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.).....	80
Figura 10 Comparación de Potasio del suelo inicial y final, después de la aplicación del biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.).....	81

RESUMEN

La presente investigación tuvo como **objetivo** evaluar el efecto del biochar de molle (*Schinus molle L.*) en la recuperación de suelos degradados, usando como indicador el maíz (*Zea mays L.*). La **metodología** fue de tipo experimental. Se distribuyeron en maceteros de 2 kg de suelo degradado con 3 grupos operacionales y 5 repeticiones respectivamente en la que se aplicaron dosis de 5%; 15% y 30% de biochar de molle, luego de 15 días se plantó maíz pre germinadas y se evaluaron por 60 días. Los **resultados** obtenidos para el tipo textural del suelo inicial de arcilloso, manteniéndose con biochar al 5%, pasando a franco arcilloso con biochar al 15% y franco arcilloso arenoso con biochar al 30%, el pH ácido inicial de 4.28 se equilibra con biochar al 5%, pasa a demasiado alcalino para la mayoría de las plantas con biochar al 15% y 30%. La M.O baja, se mantiene con biochar al 5 %, y pasa a medio para suelo agrícola con biochar al 15% y 30%, la CIC inicial es muy bajo, con ligeros incrementos, pero aún muy bajo para un suelo agrícola, sin embargo, el biochar al 15% favorece el mejor desempeño del maíz (*Zea mays L.*) usado como indicador. con lo que se **concluye** que el biochar de molle tiene efectos positivos en los suelos degradados, aportándoles materia orgánica, estabilizando el pH y favoreciendo el desarrollo de las plantas.

Palabras claves: Biochar, pirolisis, suelo degradado y molle.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of molle (*Schinus molle* L.) biochar on the recovery of degraded soils, using corn (*Zea mays* L.) as an indicator. The methodology was experimental. They were distributed in pots of 2 kg of degraded soil with 3 operational groups and 5 replicates respectively in which doses of 5%; 15% and 30% of molle biochar were applied, after 15 days pregerminated corn was planted and evaluated for 45 days. The results obtained for the initial soil textural type were clayey, maintained with biochar at 5%, and then clay loam with biochar at 15% and sandy clay loam with biochar at 30%. The initial acid pH of 4.28 was balanced with biochar at 5% and became too alkaline for most of the plants with biochar at 15% and 30%. The initial CEC is very low, with slight increases, but still very low for an agricultural soil, however, the 15% biochar favors the best performance of corn (*Zea mays* L.) used as indicator. It is concluded that molle biochar has positive effects on degraded soils, providing organic matter, stabilizing the pH and favoring the development of plants.

Key words: Biochar, pyrolysis, degraded soil and molle.

INTRODUCCIÓN

El suelo como proveedor eco sistémico ha sido sobreexplotado por las diferentes actividades antrópicas, la adición de sustancias químicas y sintéticas, afectando estos de manera muy significativa a las características propias del suelo, con lo que se reduce el servicio que brinda, razón que las evaluaciones que determinen su vulnerabilidad son muy necesarias y urgentes. La degradación de los suelos básicamente es todo lo perjudicial sobre estos, lo que termina por reducir la capacidad de sostenerse en la actualidad o en el futuro. Los impactos del deterioro del suelo van desde inseguridad alimentaria, cambio climático, reducción hídrica perjuicios a la salud humana y el desequilibrio ecológico.

El biochar o biocarbón de molle (*Schinus molle L.*) es realmente un potenciador de del suelo, viable para la preservación y restauración de las características fisicoquímicas y la estimulación microbiana. Con el biochar de molle (*Schinus molle L.*) se reaprovecha desechos vegetales además se retiene el carbono, se desalienta las deforestaciones, y por la porosidad del biochar se retiene el agua y nutrientes para las plantas. El biochar es una herramienta y tecnología ecológica con lo que se puede dar seguridad alimentaria, reducir el cambio climático y mantener en equilibrio el ecosistema con sus servicios.

La presente investigación está estructurada en V capítulos, y cada uno de ellos basados en diversos aspectos relacionados, descritos de la siguiente manera:

El capítulo I, se describe el planteamiento del problema, formulación del problema, el objetivo general y los específicos, justificación, las imitaciones y viabilidad de la investigación.

El capítulo II, comprende con la descripción de los antecedentes internacionales, nacionales y locales basados en las variables, además de las bases teóricas, definición conceptual de la investigación, formulación de las hipótesis, y operacionalización de las variables.

El capítulo III, contiene la metodología aplicada en el proceso de la investigación que comprende el tipo de investigación, su enfoque, alcance, y diseño; se incluye también la población y muestra de estudio, las técnicas e instrumentos de recolección de los datos y técnicas para el procesamiento y análisis de la información.

El capítulo IV, se describen los resultados obtenidos durante toda la investigación, desde la interpretación y análisis de los resultados, contrastación o prueba de hipótesis de la investigación.

El capítulo V, contiene la discusión de resultados obtenidos, se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos cuyo contenido comprende el panel fotográfico del desarrollo del proyecto de investigación.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del Problema

Se considera al suelo como uno de los medios más valiosos para la vida, ya que permite la producción de recursos naturales y de alimentos para el ser vivo, y a la vez sirve de sostenimiento económico a la población. La pérdida de fertilidad o degradación del suelo por distintos factores naturales y antropogénicos es un problema ambiental, social y económico, por ello, es de total importancia que los suelos afectados recuperen las condiciones necesarias para que vuelva a ser un suelo fértil.

El deterioro del suelo es un procedimiento que perjudica de forma negativa en la estructura perjudicando en recibir, reservar y reutilizar el agua, nutrientes y materia orgánica. Por lo que es un problema relacionado principalmente con las actividades del sector agropecuario, aunque existen otras labores humanas que pueden ser la causa, por ejemplo, la agricultura, la ganadería, la silvicultura, desarrollo urbanístico, actividades industriales, la minería y el ocio.

Es importante preservar los suelos porque sobre él es donde la vida tiene lugar (seres humanos, vegetales y animales), se encuentra la actividad biológica. Donde las personas pueden sembrar, cultivar y cosechar sus alimentos para asegurar su supervivencia. Dado que, en el suelo se desarrollan plantas, arbustos y árboles que sirven para alimentar y refugiar a la fauna, y de esta manera conserva la vida en el planeta.

El suelo es un recurso cada vez más limitado porque está sujeto a constantes tipos contaminantes como agroquímicos generando procesos de degradación y destrucción y recuperarlo lleva mucho tiempo. Los agroquímicos suelen ser más baratos y con dosis más concentrados generando el aumento de la producción agropecuaria por lo que el agricultor lo utiliza constantemente para obtener más beneficios

económicos, sin embargo, los agroquímicos son los responsables de una alta mortalidad y efectos desfavorables en la salud del hombre y causan un superior índice de contaminación medioambiental.

Frente a este problema expuesto, en esta investigación se propone el uso del biochar de molle (*Schinus molle L.*) para mejorar el suelo y reducir la contaminación ambiental y perjuicios a la salud humana. Este biochar será un instrumento para combatir el cambio climático y, al mismo tiempo, optimizar la fertilidad del suelo, lo que permitirá al agricultor incrementar la productividad de los cultivos y lograr un equilibrio económico.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es el efecto del biochar de molle (*Schinus molle L.*) en la recuperación de suelos degradados, usando como indicador el maíz (*Zea mays L.*), Huánuco 2021?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál son las características fisicoquímicas del suelo degradado antes y después de la aplicación del biochar de molle (*Schinus molle L.*)?
- ¿Cuál es el efecto del biochar de molle (*Schinus molle L.*) al 5%, 15% y 30% sobre las características del maíz (*Zea mayz L.*) como indicador?
- ¿Cuál es la concentración de biochar de molle (*Schinus molle L.*) que muestra una mayor mejora en las características del maíz (*Zea mays L.*) como indicador y del suelo degradado?
- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del biochar de molle (*Schinus molle L.*)?

1.3. Objetivo General

- Evaluar el efecto de biochar de molle (*Schinus molle L.*) en la recuperación de suelos degradados, usando como indicador el maíz (*Zea mays L.*), Huánuco 2021.

1.4. Objetivos Específicos

- Describir las características fisicoquímicas del suelo degradado antes y después de la aplicación del biochar de molle (*Schinus molle L.*).
- Determinar el efecto del biochar de molle (*Schinus molle L.*) al 5%, 15% y 30% sobre las características del maíz (*Zea mays L.*) como indicador.
- Determinar la concentración de biochar de molle (*Schinus molle L.*) que muestra una mayor mejora de las características del maíz (*Zea mays L.*) como indicador y del suelo degradado.
- Cuantificar las características fisicoquímicas del biochar de molle (*Schinus molle L.*).

1.5. Justificación de la Investigación

En el aspecto personal, es el interés de buscar mejoras ambientales para nuestros suelos que poco a poco se degradan sin que nadie se preocupe por concientizar a los campesinos de lo riesgoso que resulta los efectos de los insumos químicos a sus terrenos. Valiéndome ya de información de los beneficios ecológicos que nos brinda la producción de biochar, mi persona eligió el molle como insumo directo ya que este tipo de especie es abundante de nuestra zona de Huánuco, esta especie como es nativa de esta zona y el interés mío para utilizar productos de nuestro mismo territorio someteré a experimentación a dicha especie para ver si nos proporcionará datos relevantes que nos permitan mejorar ecológicamente nuestros suelos y el medio ambiente.

A nivel social a causa de esta problemática de la degradación de los suelos, la preocupación es que día a día haya más suelos que no tengan la capacidad de producción de las plantas. El suelo es uno de los recursos más valiosos porque sirve de sustento en la vida y a su vez ayuda en la estabilidad económica de las familias, y esto genera el mal manejo de los cultivos y el uso excesivos de contaminantes químicos para aumentar la producción, dañando así directamente a la salud humana y deteriorando al suelo. El presente proyecto de investigación nos proporciona información de que tan eficiente y efectivo será la

producción de biochar a base de molle para la mejora de suelos agrícolas que son degradados diariamente por el uso excesivo de productos químicos que provocan daños a la calidad de estos tanto en sus componentes bióticos y abióticos, haciendo uso de este experimento podremos recopilar datos, si es conveniente generar biochar de este árbol que predomina en casi toda la rivera del río Huallaga de la zona de Huánuco, si los datos que obtengamos resultan muy alentadores en cuanto a la mejora de la calidad de suelos, se podrá sugerir a la comunidades campesinas dedicadas a la agricultura que hay otros medios por los cuales se puede enriquecer los suelos y evitar así la presencia de compuestos químicos que son los principales contaminantes de verduras y hortalizas que son de consumo directo para nosotros en el mercado de Huánuco.

Con respecto al aporte científico de la investigación, está demostrado que la producción de biochar es amigable para el medio ambiente y frena el paso del carbono directamente a la atmósfera, pudiendo de esta manera darle otros usos como es en este caso la mejora de los suelos degradados, con esta investigación obtendremos datos de cómo se comporta el biochar de molle en los suelos degradados y cuáles son sus efectos, monitoreando las características de un bioindicador como es el que utilizaremos el maíz. Los datos que obtengamos servirán para próximas investigaciones que contribuyan más a esta línea de investigación.

1.6. Limitaciones de la Investigación

Una de las limitantes que se tuvo en la investigación, fue la producción del biochar, ya que no se contó con equipos especializados para obtener este material ecológico, se fabricó el biochar de manera artesanal, además que no contamos un laboratorio de análisis de suelos, en nuestra ciudad de Huánuco por ello recurrimos con nuestras muestras al laboratorio de suelos de la UNAS.

Las restricciones sanitarias establecidas por el estado fueron una limitante para recurrir a bibliotecas para la obtención y revisión de bibliografía.

1.7. Viabilidad de la Investigación

La investigación es viable por lo expuesto a continuación:

Viabilidad económica, la investigación fue viable por cuanto fue autofinanciado por la investigadora y se contó con los recursos económicos.

Viabilidad social, para ello se contó con el equipo técnico conocedores del tema, que colaboraron con la recolección los datos de la investigación.

Viabilidad teórica, se recurrió al aporte teórico de autores más importantes que hacen referencias al biochar como variable de investigación.

Viabilidad ambiental, la materia prima o biomasa para la elaboración del biochar se tomó de residuos por lo que no se tuvo que afectar ningún espacio ni área verde.

Viabilidad metodológica, la presente investigación otorgará un aporte metodológico con el fin de apoyar futuras investigaciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Arévalo (2020) en su Tesis titulada: “**Valoración de la calidad del suelo mediante la aplicación de biochar de acícula de pino (*Pinus patula*) en la cuenca del Machángara – Saucay**” Universidad Politécnica Salesiana - Ecuador. Con el **objetivo** de valorar la calidad del suelo con la aplicación del biochar de acícula de pino para aumentar el crecimiento de la biomasa vegetal. **Metodología:** Se aplicó el biochar de acícula de *Pinus patula* en doce parcelas de pasto con cuatro tratamientos y tres repeticiones para la aplicación de gallinaza, eco abonaza y testigo, en el suelo se analizó las propiedades fisicoquímicas antes y después de la colocación del abono para ver si existió cambios en el mismo, con esto verificando si el abono sirve o no como fertilizantes. Los **resultados** estadísticos del proyecto indica que los abonos empleados en las diferentes parcelas es significativo, debido a que existe un incremento en la cantidad de nutrientes y mejora las propiedades físicas del suelo, como la textura y estructura, indicando que el mejor tratamiento es el biochar con la cantidad empleada en el terreno de 2.16 libras de biochar en cada parcela correspondiente, incrementando la MO de un 26.90% a un 58.7%, lo mismo sucede con la biomasa vegetal con un incremento de 21% a un 23%. **Concluyendo** que La dosis determinada de biochar fue de 1kg para cada parcela correspondiente y frente a la aplicación de la gallinaza fue de 1.3 kg y la dosis de eco abonaza fue de 2 kg en las parcelas de pasto correspondientes. En consecuencia, el biochar fue el mejor tratamiento en parcelas de pasto con rendimientos de 272.55Kg/ha/Ms, seguido del eco abonaza con valores de 265.65 Kg/ha/M, la gallinaza con 234.85 Kg/ha/Ms y el testigo con 245.52 Kg/ha/Ms.

Flórez & García (2020) en su Tesis titulada: ***“Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de un suelo enmendado con biochar proveniente de residuos de floricultura, en la Finca El Escondite, vereda San Benito, Sibaté”*** Universidad de La Salle – Colombia. El **objetivo** del proyecto es evaluar los cambios de las propiedades físicas y químicas del suelo enmendado en un lapso de tres meses desde la aplicación; esto se llevó a cabo aplicando diferentes concentraciones de biochar (% p: p) en cuatro parcelas de la Finca el Escondite situado en la Vereda San Benito en donde se destinó una como objeto de control. **Metodología:** La producción de biochar se da a partir del material vegetal, en este caso los restos de los cultivos del clavel de la municipalidad de Sibaté, que han sido sometidos al procedimiento de pirolisis lenta; se realizó 9 experimentos que fueron determinados por un modelo experimental factorial en el que se tomaron en cuenta variables como la temperatura y el tiempo de calentamiento. Para analizar los cambios del suelo a lo largo del tiempo, se tomaron tres muestras en 3 días distintos, de acuerdo con la metodología del PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR DEL MUESTREO DE SUELOS de la EPA de 1997. Los análisis físicos y químicos han sido realizados por el Laboratorio nacional de suelos del IGAC y el Centro de bio-sistemas: Laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, donde se evaluaron los parámetros como el carbono orgánico, materia orgánica, textura, densidad aparente, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno total, pH, entre otras. Logrando los siguientes **resultados:** El incremento del carbono orgánico y en la materia orgánica, mostrando el decrecimiento de los parámetros como la capacidad de intercambio catiónico y el nitrógeno total que ha sido modificado claramente por el nitrógeno mineral, lo que indica que el decrecimiento estuvo relacionado principalmente con la precipitación ocurrida en el intervalo de meses entre octubre y noviembre. Sin embargo, con la aplicación del biochar en el suelo los parámetros físicos no cambiaron debido al tamaño de la partícula del carbón que fue superior a 2 mm puesto que provocó que se presente una integración

más lenta en la estructura del suelo. Para finalizar, se logra observar que la concentración que generó notables y altos cambios generó en las propiedades físicas y químicas del suelo fue de 3 % (P:P) teniendo una relación de 1,35 kg / m² porque la mayor parte de los parámetros que fueron tomados para el análisis, presentan una tendencia de crecimiento y estabilidad en los meses que se tomaron para dicho estudio, asimismo, se tuvo como **conclusión** que con esta concentración puede tener un aprovechamiento de 78.035 ton/Ha de restos de clavel (Bh).

Cuenca (2019) en su Tesis titulada: ***“Evaluación de la mineralización de biochar sobre parámetros químicos del suelo en dos tiempos de incubación”*** Universidad Técnica de Machala – Ecuador. El **objetivo** del proyecto es Determinar el efecto de la mineralización de biochar sobre parámetros químicos del suelo en función del tiempo. Tuvo como **metodología**: El experimento contó con un diseño totalmente al azar, en la que se evaluó 5 tratamientos con 4 repeticiones en 2 tiempos de incubación: T0 = 300 g de suelo + 0 g de biochar; T1 = Suelo 300 g de suelo + 5g de biochar; T2 = 300 g de suelo + 10g de biochar; T3 = 300 g de suelo + 15g de biochar; T4 = 300 g de suelo + 20g de biochar. Las variables analizadas fueron las siguientes: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y amonio. Respecto al análisis de los datos, se utilizó un ANOVA (Análisis de Varianza) de modelo lineal general univariado empleando la prueba de rangos múltiples de Duncan, asimismo para comprobar si en los periodos de incubación de treinta y sesenta días hubo o no diferencia significativa entre los tratamientos del experimento. El análisis del presente experimento ha sido llevado a cabo en el programa estadístico IBM – SPSS Statistics editor de datos versión 24 de prueba para Windows y se usó una confiabilidad del 95% ($\alpha=0.05$). Respecto a los **resultados**, evidenciaron que la utilización del biochar ocasionó cambios significativos en los parámetros químicos del suelo. En cuanto al pH, se obtuvo el mayor aumento a los treinta días, este aumento fue mucho más que los tratamientos que se sometieron a los sesenta días, mientras que este tratamiento se observó que el pH disminuyó de forma leve. La

conductividad eléctrica a los treinta días presentó superiores valores a comparación de los alcanzados a los sesenta días, por lo que se notó que cuanto mayor sea el periodo de incubación se genera la disminución de este parámetro químico. **Se concluye que**, hubo un incremento de la MO en función de la intensificación de las dosis del biochar, pero los valores conseguidos para esta variable en los periodos de los treinta y sesenta días fueron semejantes. A los treinta y sesenta días se observó en todos los tratamientos, que el amonio mostró semejanza en los resultados, excepto el tratamiento 4 que mostró un aumento significativo, evidenciando que el tiempo y la dosis de biochar utilizado afectaron al suelo en función a la disponibilidad del amonio.

Olmo (2016) En su Tesis doctoral titulada: ***“Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal”*** Universidad de Córdoba - España. El **objetivo** del proyecto es Profundizar en el estudio de estos mecanismos, evaluando las respuestas de los rasgos funcionales más importantes de la planta a los cambios inducidos por el biochar. **Metodología:** Los experimentos se realizaron en condiciones controladas (Invernadero y cámara de cultivo) y en campo, utilizando distintos biochars, como: la paja de olivo y la paja de trigo, especies agronómicas y cantidades de aplicación. En sus **resultados**, nos muestran que las propiedades de los biochars han variado en función del material de partida, sin embargo, mostraron en general el pH alcalino, bajo contenido en nutrientes y alto contenido en carbono. En general, el aumento de biochar ocasionó la compactación del suelo, la disminución de la densidad aparente e incrementó su capacidad de retención de agua del suelo. Sin embargo, se observó que la adición del biochar influyó significativamente en la disponibilidad de los nutrientes que se encuentran en el suelo, incrementando la disponibilidad de Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Cobre, pero disminuyendo la cantidad de Nitrógeno. Se utilizó a los biochars para realizar cambios inducidos en las propiedades del suelo donde afectaron a su morfología de la raíz. Tanto en los ensayos donde se añadió el biochar tanto como en los del campo y el invernadero, se pudo detectar

una relación significativa y positiva dentro de la producción vegetal y la longitud específica de la raíz, lo que recomienda que el aumento de la reproducción de raíces finas luego de añadir el biochar ocasionó que el cultivo incremente su rendimiento. **Concluyendo** que el efecto del biochar respecto a la disponibilidad de nutrientes del suelo depende del nutriente en cuestión, por un lado, se incrementó el contenido de algunos nutrientes como el Calcio, Potasio, Magnesio, Fósforo, Cobre y Zinc, y por otro lado se observó la inmovilización y retención de otros como el Amonio, Nitrato, Hierro y Manganeso, de esta manera disminuyendo su disponibilidad para la planta. Estos efectos han dependido en gran medida de las condiciones de fertilización y las características del suelo.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Ayala & Peña (2020) en su Tesis titulada: ***“Uso del biochar como alternativa de mejoramiento de la calidad de los suelos mediante una revisión sistemática”*** Universidad César Vallejo. Su **objetivo** es explicar el uso del biochar como alternativa para mejorar la calidad de los suelos, con el fin de analizar el uso del biochar como mejorador de los suelos agrícolas contaminados por excesivo uso de fertilizantes químicos o suelos pobres. **Metodología:** El tipo de investigación es básica, porque conduce a la búsqueda de nuevos conocimientos y áreas de investigación, asimismo, acrecienta el conocimiento científico y el diseño de investigación es cualitativo narrativo tópico. En sus **resultados** nos explica que el uso del biochar fueron los siguientes: restos urbanos, excrementos de animales, restos agrícolas, vísceras de pescado, entre otros, mediante una revisión sistemática. Los biochars producidos a temperaturas que están dentro del rango de [200 °C a 700 °C] se considera como los más óptimos. Según las investigaciones realizadas los biochars de excremento de animales deben ser añadidos al suelo con dosis de 3% y 10%, es por ellos que estas dosis de biochar han aumentado las propiedades físicas como: Porosidad, Humedad, Color, Textura y Estructura, y en las propiedades químicas: Fósforo, Calcio, pH, Conductividad Eléctrica, Sodio, Hierro, Carbono Orgánico Total, Potasio, Magnesio, Cobre, Zinc, Nitrógeno total y biológicas:

Aumento de bacterias gram Negativa. **Conclusión:** Los biochar que se analizaron en la investigación reducen los impactos negativos sobre el medio ambiente, tales como: El uso exagerado de los fertilizantes químicos, disminución de los gases de efecto invernadero, los olores y el amoniaco.

Aróstegui (2019) en su Tesis titulada: **“Evaluación del efecto de biochar de residuos de sachá inchi y cacao sobre suelos degradados de Campoverde, Ucayali, usando *Zea mays* con indicador”** Universidad Científica del Sur. Cuyo **objetivo** fue evaluar el efecto del biochar producido a partir de residuos agrícolas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) y cacao (*Theobroma cacao*) sobre la mejora de las características fisicoquímicas del suelo degradado por la agricultura intensiva de la región Ucayali, usando la especie *Zea mays* como indicadora. **Metodología:** La parte experimental de los ensayos se realizó en el invernadero localizado en 12° 4'35.89"S y 77° 4'38.96"O, Lima, Perú, con temperatura y humedad controlada. Así mismo, el análisis de suelo se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) y la Universidad Científica del Sur (UCSUR). En los **resultados** de la investigación se hallaron diferencias significativas en los resultados del suelo que contiene biochar versus el suelo degradado sin biochar, pero se observó que las dosis más altas de biochar no favoreció un mejor crecimiento del maíz. Se precisó que en el tratamiento donde se añadió la dosis más baja de biochar (5%) fue la que arrojó favorables resultados donde se pudo observar el mejor y más grande crecimiento de la planta y el pH neutro. Así mismo, se demostró que la aplicación de biochar no siempre logra modificar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) como han demostrado otros autores. **Conclusión:** Se ha demostrado que la aplicación del biochar en el suelo es importante en la MO y la alteración del pH en el suelo. Las diferentes dosis de biochar en el suelo respondieron rápidamente en el crecimiento de la planta, con una neutralización del pH, sin embargo, las dosis superiores llevaron al suelo hasta un pH alcalino, inhibiendo el crecimiento de la planta.

Iglesias (2018) En su trabajo de investigación titulada: **“Aplicación de biochar a partir de biomasa residual de eucalipto para evaluar la productividad con maíz en el austro ecuatoriano”**. Universidad Nacional Agraria La Molina – Lima. La investigación se realizó en la zona austral andina de la república del Ecuador. Cuyo **objetivo** fue determinar la viabilidad de la utilización de biochar, elaborado a partir de biomasa residual de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill), mediante dos métodos de pirólisis, validándolo en la productividad del cultivo del maíz (*Zea mays* L.) y la respuesta en el suelo agrícola como mejorador de condiciones edáficas y fijador de carbono. Tuvo como **metodologías**: El procedimiento para la producción del biochar, el análisis a nivel de laboratorio sobre características fisicoquímicas de las variedades de biochar, así mismo, para determinar las dosis que se debe aplicar en el cultivo se hizo pruebas a fin de germinar los granos de maíz. Además, a nivel agronómico se desarrolló la validación del biochar como enmienda siendo aplicado al suelo en el cultivo de maíz y para establecer la relación de la productividad y sus propiedades potenciales de los suelos en la Estación Experimental del Austro del Instituto de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador (INIAP). **Resultados**: En los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina de Lima-Perú (UNALM) se realizó los análisis de la presente investigación. Ante las circunstancias estudiadas, se observó un aumento en la proteína y el rendimiento del grano del *Zea mays* L. utilizando el biochar de *Eucalyptus globulus* Labill, además de otras características fenológicas de crecimiento, así mismo se espera que para los próximos cultivos el biochar de eucalipto contenga efectos residuales a mediano y largo plazo. **Se concluyó** según lo determinado en el análisis comparativo de las condiciones previas y posteriores del cultivo si ocurrieron cambios a niveles de las características del suelo donde se aplicó el biochar. Finalmente, se determinó la viabilidad de la aplicación del biochar de eucalipto, sustentando en el análisis económico y estadístico de los resultados, así mismo para determinar una propuesta de gestión en el sistema integrado de *Zea mays* L. y *Eucalyptus globulus* Labill.

Ríos (2018) En su tesis titulada: **“Aplicación de biochar de *Mespilus germanica L.* y *Mangifera indica L.* en suelos contaminados para reducir plomo en la zona de La Huaca -Huaral, 2018”**, Universidad César Vallejo – Lima. El **objetivo** fue reducir el nivel de concentración de plomo con la aplicación de Biochar de *Mespilus germanica L.* y *Mangifera indica L.* en suelo contaminado de la zona de La Huaca – Huaral. En la **metodología** se ejecutó la quema pirolítica de la materia prima de *Mespilus germanica L.* y *Mangifera indica L.*, presentando lignina (23.1%) y plomo (1.97 ppm) de *Mespilus germanica L.*, y lignina (20.0%) y plomo (1.02 ppm) de *Mangifera indica L.*, se añadió en distintas proporciones de 5%,10% y 20% de los dos tipos de biochar en muestras de 1 kg de suelo contaminado, para que al finalizar se determine la adsorción de plomo por el biochar de *Mespilus germanica L.* y *Mangifera indica L.*, en un periodo de tiempo de treinta y sesenta días se llevó a cabo el procedimiento de aplicación. **Resultados:** Se estableció que la aplicación del biochar de *Mangifera indica L.* al 10% fue más efectivo en la adsorción de 358.14 ppm en los sesenta días de tratamiento, además obtuvo un contenido de 32.86 ppm de plomo, lo cual dicho número arrojado está por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental para el suelo agrícola. Se **concluye** que es fundamental controlar y mantener durante la elaboración del biochar de *Mespilus germanica L.* y *Mangifera indica L.* la temperatura menor a 250°C durante la pirólisis, para el mantenimiento de las propiedades de la lignina en la adsorción de metales pesados. Así mismo, es preciso destacar que la materia prima (residuos de árboles frutales de mango y níspero como las hojas y los tallos) de *Mespilus germanica L.* y *Mangifera indica L.* fue secado por un tiempo de seis meses.

2.1.3. Antecedentes locales

Solisor (2021) en su Tesis titulada: **“Efecto del biochar del eucalipto (*eucalyptus globulus*) en la mejora de la calidad de suelo y las características morfológicas del rabanito (*raphanus sativus*)”** Universidad de Huánuco. El **objetivo** fue comparar el efecto del biochar del eucalipto (*Eucalyptus globulus*) para la mejora de la calidad del suelo

y las características morfológicas del rabanito (*Raphanus sativus*) - Huánuco 2020. **Metodología:** Se usó el tipo de muestreo no probabilístico para conseguir la muestra, siendo el muestreo intencionado o por conveniencia. Se utilizaron quince bandejas para el estudio de investigación; las cinco primeras bandejas tenían como contenido quince kilogramos de suelo pobre donde se evaluaron las propiedades fisicoquímicas y al mismo tiempo se procedió a sembrar el *Raphanus sativus* en el mismo suelo pobre. Las siguientes diez bandejas, cinco bandejas tenían como contenido quince kilogramos de suelo con el 15% de biochar y para las cinco bandejas restantes se aplicó el 30% de biochar, en el cual se procedió a sembrar el *Raphanus sativus* y se sometió a evaluación por un periodo de tiempo de cuarenta y cinco días. Al finalizar, para comprobar si el biochar de *Eucalyptus globulus* logró tener efecto en las propiedades fisicoquímicas del suelo se tomó las muestras del suelo por cada bandeja evaluada. Obteniendo como **resultado:** Respecto al suelo tratado con el biochar de *Eucalyptus globulus* al 15%; en los parámetros físicos se logró un promedio de, 22,2% arcilla, 18% limo y 58,9% arena, asimismo, se observó que la MO se mantuvo bajo con 1,402% y el pH ascendió al 8,862 de acuerdo a la Guía de Interpretación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva; en los parámetros químicos se consiguió un promedio bajo del 0.07 de N, nivel intermedio del 10.714 de P y el promedio del 229.174 de K. Asimismo, los elementos intercambiables como el Calcio que obtuvo como resultado un promedio alto de 17,914 y el Potasio el promedio de 0.714 donde indica que también es alto; sin embargo, el Na con el promedio de 0,482 es relativamente bajo, y finalmente para el Capacidad de Intercambio Catiónico se logró el promedio de 21.388 que indica una mediana fertilidad del suelo, todos éstos parámetros cumplen los estándares establecidos. Para la evaluación de los parámetros del suelo tratado con el biochar de *Eucalyptus globulus* al 30%, se obtuvieron los siguientes resultados para los parámetros físicos: El promedio 20,8% de arcilla, 63% de arena y 16.2% limo. Asimismo, se observa que los parámetros químicos han mejorado en comparación al tratamiento del

15%; ya que se puede observar el suelo fuertemente alcalino con el 9.298 de pH; nivel intermedio con 2.522 de la MO, igualmente nivel intermedio con 0126 de N, el nivel alto con 14.68 de P y 325,018 de K promedio, según la Guía de Interpretación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Los parámetros que cumplió los estándares son los elementos intercambiables como: Un alto promedio del 27.724 de Calcio, 3.528 de Magnesio; alto promedio del 1,046 de Potasio. No obstante, para el 0,738 de Na es relativamente bajo y para el 33,032 de la Capacidad de Intercambio indica una fertilidad alta. Realizando el análisis inferencial con la t de Student para las muestras independientes con un nivel de significancia del 5% (0.05); el biochar de *Eucalyptus globulus* modifica la calidad del suelo tanto en el tratamiento del 15% y 30% ya que se obtuvo un p – valor menor a 0,5. **Conclusión:** Se comprueba que el biochar de *Eucalyptus globulus* tiene un impacto significativo en la calidad del suelo en los parámetros evaluados estadísticamente, con excepción del limo conforme al Análisis Mecánico del Suelo ese indicador no es beneficiado ni perjudicado. Los dos tratamientos sometidos con el biochar de *Eucalyptus globulus* tienen eficacia en los parámetros fisicoquímicos de la calidad del suelo, aunque el tratamiento con 30% de concentración de biochar de *Eucalyptus globulus*; tiene un impacto sobre las características físicas y químicas del suelo evaluado, porque los parámetros analizados de acuerdo a la calidad de suelo analizado varían de un promedio bajo a medio y alto como lo indica el análisis constatado.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Biochar

García et al. (2014) definen al biochar como el producto carbonizado que se obtiene a partir de la biomasa con un alto contenido de C, que fue descompuesto térmicamente en una atmósfera libre de oxígeno o muy baja, mediante procesos sostenibles. El proceso de producción del biochar es similar al de la producción de carbón vegetal, un proceso conocido desde tiempos pasados. Entre el carbón vegetal y

el biochar, la principal diferencia es el propósito de su producción. Si se utiliza el carbonizado al suelo para mejorar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, almacenar C y la retención hídrica, este carbonizado toma el nombre de biochar. Los productos similares, pero para procesos de filtrado, aplicaciones energéticas o como agentes reductores en la industria metalúrgica no se definen como biochar. A causa de sus características peculiares, existe un consenso científico sobre su aplicación al suelo con el propósito de secuestrar C, al mismo tiempo que puede optimizar las funciones del suelo y evitar efectos adversos a corto y largo plazo sobre el medio ambiente.

Coincidiendo con el concepto anterior Gilces (2014) menciona que el biochar o biocarbón se fabrica por la variación mediante la combustión incompleta o anaeróbica también llamado pirólisis de la biomasa en un rango de temperaturas de 350 °C a 500 °C, lo que estimula un material rico en carbono (C) y cenizas que retornan al suelo, mejorando sus condiciones y propiedades. Hoy en día es bien conocido el uso del biochar en diversas funciones como en los cultivos agrícolas, medio de reciclaje de nutrientes y manejo de agro ecosistemas, cumpliendo un rol importante en la lucha contra la pérdida de suelos por distintas actividades, optimizando su fertilidad y evitando su deterioro.

Quemar los restos de la biomasa de las especies vegetales es una costumbre antigua que tenía como propósito de reponer los nutrientes en el suelo y limpiar las plantas de plagas y enfermedades. El biochar o biocarbón, está relacionado con las prácticas de manejo de la tierra que fueron practicadas por varias culturas antes del arribo de los europeos, como la "terra preta" en Brasil y el uso antiguo de la ceniza de los fogones, producto de la cocción con leña. aplicado en los campos. El uso del biocarbón es una tecnología probada que beneficia al suelo y aumenta la fertilidad del suelo al mejorar sus propiedades fisicoquímicas y biológicas.

Torres-Sallan et al. (2014) manifiestan que el biochar es el carbón producido de residuos de biomasa, asignado a contribuir al secuestro de

carbono (C) en su estructura de este y hacer mejoras a la fertilidad del suelo. El carbón vegetal es el resultado de la combustión de biomasa que tiene diversos usos y aplicaciones, el biochar es un producto con mayor contenido de carbono (C) que se puede fabricar en un horno, luego de calentar la biomasa como hojas o maderas en un contenedor con poco o nada de ingreso de aire. En conclusión, el biochar es fabricado por la conversión térmica de la materia orgánica (MO) con un escaso suministro de oxígeno y en un rango de temperaturas relativamente bajas entre 350°C y 650 °C.

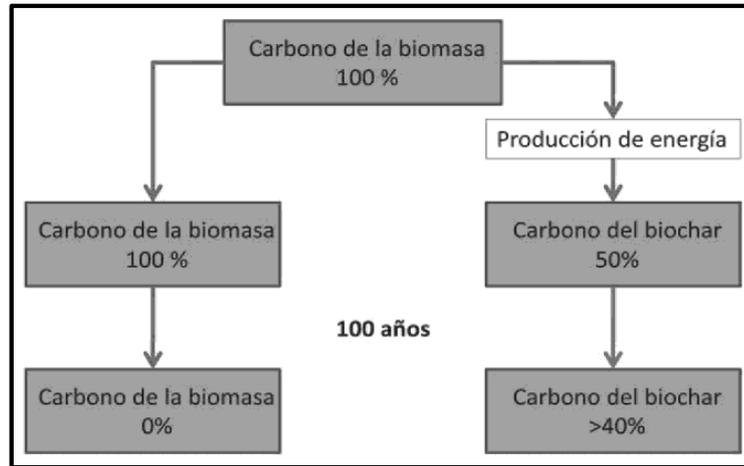
El aprovechamiento que se tiene al usar el biochar en el suelo, se sostiene en las mejoras que ocasiona dentro de la composición de la tierra, en ese sentido, se ha comprobado que la utilización del biochar como enmienda puede hacer mejoras en las condiciones del suelo y al mismo tiempo corregir algunas de sus propiedades. (Alcañiz et al., 2014; Crombie et al., 2015).

Propiedades generales del biochar

El biochar es un material orgánico que es el resultado de la pirólisis de materias primas que contengan carbono (biomasa) y se considere un “mejorador de suelos”. Se planteó una enorme diversidad de materia prima para la elaboración de biochar, como: madera, restos de cultivos y estiércol de animales, entre otros. La capacidad de cada materia prima para tal utilización depende de sus propiedades fisicoquímicas y ambientales, así como también de los factores logísticos y económicos. El aspecto del carbono (C) que se encuentra en el biochar son en gran medida recalcitrantes en el suelo, con un periodo de residencia del carbonizado en el periodo de cientos y has a miles de años, aproximadamente de 10 y 1000 veces superior que el espacio de residencia de otro tipo de materia orgánica (MO) en el suelo. (García et al., 2014. p. 17-19).

Figura 1

Comparación del periodo de tiempo de residencia del carbono de la biomasa y del biochar en el suelo.



Nota: La adición del biochar al suelo puede considerarse como un potencial sumidero de carbono (García et al., 2014. p. 19)

Sin embargo, es importante señalar que hay muy pocos datos sobre el biocarbón producido en función de distintas materias primas. Es muy esencial hacer pruebas sobre la estabilidad del biochar en el medio, sus impactos en los procesos y funciones en el suelo, puesto que, el gran interés que se ha producido por su posible uso en la mitigación del cambio climático y la recuperación de suelos degradados.

Las propiedades físicas y químicas como es la porosidad, distribución de tamaño de partícula, composición del biochar obtenido es establecido por las condiciones en las que se realiza el proceso de pirólisis y las características de la alimentación de la materia prima a tratar, es preciso resaltar que, para una aplicación dada se debe puntualizar su idoneidad, determinando su actuación, transporte y destino en el ambiente. Existe una heterogeneidad en las propiedades del biochar, en las partículas individuales y principalmente entre los biochar procedentes de diferentes materias primas y/o producidas bajo diferentes condiciones de pirólisis. Por ejemplo, se han determinado capacidades de intercambio catiónico desde valores insignificantes hasta unos 40

cmolc g⁻¹, relaciones C: N entre 7 y 500 (incluso superiores). El pH es normalmente entre neutro y básico con valores entre 7 y 10,5. A pesar de que esta heterogeneidad conlleva dificultades en la identificación de los mecanismos subyacentes, esto representa una oportunidad para diseñar el biochar con propiedades que se adapten mejor a un sitio determinado donde dependa de su tipo de suelo, uso del suelo, hidrología, los contaminantes del suelo, clima, etc.). (García et al., 2014).

Propiedades fisicoquímicas del biochar

Determinadas principalmente por la materia prima, elemento o insumo a utilizar y las condiciones o circunstancias de operación para el proceso de la pirólisis. La heterogeneidad de la alimentación combinado con la amplia gama de reacciones químicas que se da durante el desarrollo, da lugar a un producto sólido “biochar” con un conjunto de características químicas y estructurales único. El interés principal se centra en aquellas características que son más propensas a tener un impacto en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo y en las evoluciones una vez incorporado el biochar al suelo. Tanto la alimentación (tipo de material a pirolizar) como las condiciones en que se lleva a cabo el pirólisis influyen en las propiedades del biochar de cara a su aplicación al suelo (García et al., 2014. p. 37-38).

En cuanto a la estabilidad química del biochar, en gran parte se puede deducir como un efecto de su composición, es decir, su alto contenido en carbono y la estructura fuertemente aromática. La estabilidad, sin embargo, se puede ver afectada por la estructura y características físicas de las partículas (resistencia mecánica, tamaño, entre otras) así como las propiedades del suelo donde sea aplicado. Las condiciones de operación durante la producción de biochar pueden afectar la concentración de carbono en el biochar y su grado de aromaticidad.

pH del biochar

Es posible producir biochar prácticamente en cualquier valor de pH comprendido entre 4 y 12. Es por ello, la importancia de elegir de manera adecuada la materia prima y las condiciones y circunstancias de operación. Normalmente a temperaturas bajas de pirólisis (hasta aproximadamente a 400°C) se consigue un biochar ácido con el pH <7, por encima de este rango es probable producir biochar alcalino con el pH >7 aumentando la temperatura de pirólisis. A temperaturas muy altas (~ 800°C) el biochar puede llegar alcanzar un valor de pH 12.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

El biochar tiene la capacidad de intercambiar cationes (Así como el Nitrógeno [N] en forma de Amonio [NH₄⁺]) con la solución del suelo y, por consiguiente, de reunir los nutrientes para los cultivos. La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se encuentra en función del pH, siendo disminuido a pH muy bajos y se incrementa a pH más altos. La Capacidad de Intercambio Catiónico del biochar fresco normalmente es muy baja, sin embargo, a lo largo del tiempo va aumentando con la presencia de oxígeno (O) y agua (H₂O). Actualmente se está realizando investigaciones donde se pueda producir biochar con mayor CIC.

Área superficial específica

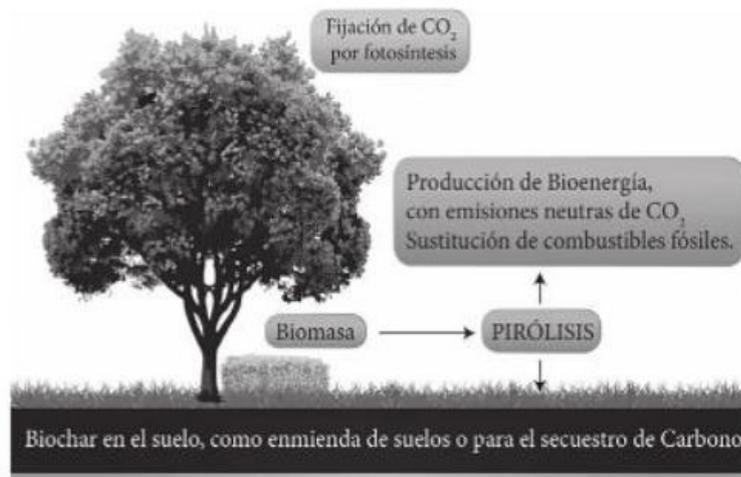
El biochar se puede producir dentro de un amplio rango de superficies específicas. Los parámetros principales que influyen en el área superficial específica son:

- La temperatura de pirólisis.
- La rapidez de calentamiento.
- El tiempo de residencia.

- La presencia de agentes reactivos (vapor de agua, CO₂, O₂, etc.).

Figura 2

Representación del uso de la pirólisis de biomasa para generar energía y fijar carbono en el suelo.



Nota: El biochar no es totalmente inerte y, finalmente, se descompone y libera CO₂. (García Izquierdo et al., 2014. p. 21)

La superficie total del biochar en la mayoría de las materias primas procesadas tiende a aumentar con el aumento de la temperatura (T) de la pirólisis. El desarrollo de la microporosidad en el biochar, vinculado a un aumento en el orden estructural y la organización, se ve favorecido por mayores temperaturas y tiempos de retención, como se ha demostrado previamente para carbones activos. Por ejemplo, el aumento de temperatura de pirólisis de 250 a 500°C mejora el desarrollo de microporos en el biochar producido a partir de cáscaras de pistacho, debido al aumento en el desprendimiento de volátiles. Por otro lado, el aumento de temperatura (> 800°C), produce una reducción de la superficie global del biochar que se atribuye a la fusión parcial de la estructura. De manera similar, la velocidad de calentamiento y la presión también influyen en la transferencia de masa de los volátiles producidos en cualquier intervalo de temperatura.

La obtención de biochar mediante el proceso de pirólisis se expone como una probable alternativa tecnológica con el fin de alcanzar un balance de carbono negativo. En el proceso de pirolisis se realiza el calentamiento en ausencia de oxígeno, convierte la materia orgánica en un sólido excelente en concentraciones de carbono (biochar) y en productos volátiles. El biochar que es productor a partir de la pirolisis de residuos biomásicos, se añade a los suelos concediendo un sistema de almacenaje de carbono estable a lo largo de muchos años. De esta manera, el dióxido de carbono se puede eliminar de la atmósfera; dado que el dióxido de carbono se absorbe principalmente durante el desarrollo de las plantas y más tarde el carbono estable del biochar continuaría almacenado en el suelo, impidiendo su regreso a la atmósfera a causa de la descomposición. Del mismo modo, los sub productos obtenidos del proceso de pirólisis como el gas, los aceites y bioaceites son considerados como combustibles renovables que lograrían reemplazar a los combustibles fósiles que son utilizados para la producción de electricidad u otros usos.

Beneficios climáticamente inteligentes del biochar

El carbono del biochar puede persistir en los suelos durante períodos prolongados. Más allá del carbono secuestrado en el propio biochar, el biochar incorporado en el suelo también ofrece muchos otros beneficios climáticos potenciales (IBI, 2018).

Fertilidad del suelo

Las investigaciones existentes indica que el biochar logra mejorar la fertilidad y productividad del suelo, estimulando el crecimiento de las plantas, que luego consume más CO₂ en un efecto de retroalimentación positiva. Además, el biochar puede reducir la necesidad de fertilizantes químicos, lo que resulta en una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero de la fabricación de fertilizantes.

Reducción de las emisiones de N₂O y CH₄

El biochar puede reducir las emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), dos potentes gases de efecto invernadero de los suelos agrícolas. Además, El biochar puede aumentar la vida microbiana del suelo, lo que resulta en más almacenamiento de carbono en el suelo.

Emisiones reducidas de materias primas

La conversión de desechos agrícolas y forestales en biochar puede evitar las emisiones de CO₂ y CH₄ generadas por la descomposición natural o la quema de desechos.

Generación de energía

La energía térmica, y también los bioaceites y los gases de síntesis, generados durante la producción de biocarbón se pueden utilizar para desplazar la energía positiva de carbono de los combustibles fósiles.

Beneficios del biochar sobre el suelo

Según los estudios realizados por la International Biochar Initiative (2018) indica que el biochar interviene en la mejora los suelos. Al transformar los residuos agrícolas en un fuerte potenciador del suelo que ayuda a retener el carbono (C) y provoca que los suelos sean más fértiles y productivos, de esta manera se puede impulsar la seguridad alimentaria, desmotivar a las actividades de deforestación y conservar la diversidad de los suelos agrícolas. La investigación está confirmando los beneficios que contienen:

- Disminución de la lixiviación de N en las aguas subterráneas.
- Posible reducción de las emisiones de Óxido Nitroso.
- Mayor CIC que ayuda a la mejora en la fertilidad de los suelos.
- Moderación de la acidez de los suelos.

- Mayor retención hídrica.
- Aumento en la vida microbiana que son beneficiosos para el suelo.

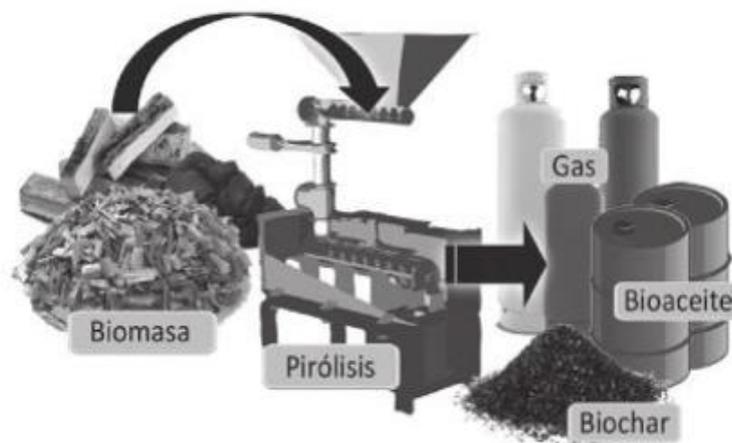
El biocarbón puede hacer mejoras en cualquier tipo de suelo. Es probable que las áreas con escasas lluvias o suelos pobres en nutrientes se podrá observar un mayor impacto de la adición del biocarbón.

Elaboración de biochar por pirolisis

El procedimiento de pirólisis convierte a la materia prima en 3 diferentes componentes: Líquido, gas y sólido carbonizado en distinta proporción de cada uno, sin embargo, esos resultados estarán en función a la materia prima y de las condiciones de pirólisis que se utilizó. Los gases que se generan en el proceso son combustibles como los gases permanentes, hidrocarburos ligeros y metano. En la sección gaseosa de la misma manera existen vapores condensables que pueden ser enfriados y producir un residuo de aceite. Asimismo, se puede utilizar los gases y líquidos como combustible.

Figura 3

Productos de la pirolisis



Nota: El pirólisis se produce de forma espontánea a altas temperaturas (García et al., 2014. p. 23)

Son casos más extremos en los que el pirólisis deja únicamente un residuo carbono y se denomina carbonización. Las altas temperaturas usadas en el pirólisis pueden inducir la polimerización, mediante este proceso se producen moléculas más grandes (incluyendo tanto compuestos aromáticos como alifáticos), así como la descomposición térmica de algunos componentes de las materias primas en moléculas más pequeñas.

Material a tratar

La composición del material a alimentar cumple una función muy fundamental en el proceso de pirólisis. El tipo de material a alimentar repercute directamente en las características del biochar, bioaceite y gases obtenidos. La selección del material a tratar puede ser realizada en base a las características deseadas en los productos de pirólisis o bien en base a las necesidades de tratamiento de residuos que no sean compatibles con otras tecnologías.

Tiempo

Los términos de pirólisis rápida y pirólisis lento son indicativos del tiempo de permanencia tanto de la biomasa como de los vapores en el recipiente de reacción. El pirólisis rápido se produce a temperaturas moderadas, con tiempos de residencia del vapor muy cortos y se obtiene más bioaceite y menos biochar que en pirólisis lenta. En el pirólisis lento se producen los máximos rendimientos de biochar, debido a las bajas temperaturas de operación y velocidades de calentamiento

La relación tamaño de partícula - humedad de la alimentación-temperatura

La dimensión de la partícula y el contenido de humedad de la alimentación son consideraciones importantes a tener en cuenta, ya que afectará a las características y calidad del biochar. La energía requerida para llevar la biomasa a la

temperatura de pirólisis es superior en el tratamiento de materias primas con humedad elevada y tamaños de partículas grandes disminuyendo la eficiencia del sistema. En primer lugar, las temperaturas de pirólisis bajas favorecen rendimientos superiores de biochar. En segundo lugar, a mayor tamaño de partícula se produce más biochar, así como partiendo de materias primas con un alto contenido de lignina.

Tabla 1

Tipos de pirólisis y rendimientos típicos de productos

Condiciones		Líquido	Sólido	Gas
Lenta	Temperatura moderada 500° C	30	35	35
Lenta	Tiempo de residencia de vapor largos 50 – 30 minutos	30	35	35
Moderada	Temperatura moderada 500° C	50	20	30
Moderada	Tiempo de residencia de vapor 10 – 20s	50	20	30
Rápida	Temperatura moderada 500° C	75	12	13
Rápida	Tiempo de residencia de vapor cortos 1s	75	12	13
Clasificación	Temperatura alta > 700° C	5	10	85
Clasificación	Tiempo de residencia de vapor 10 – 20s	5	10	85

Nota: Demuestra que las distintas condiciones de pirólisis guían a diversas proporciones de cada producto final (bioaceite, gas y biochar). Esto indica que se pueden adaptar las condiciones específicas del proceso de pirólisis para lograr el resultado anhelado. (García et al., 2014. p. 28)

Temperatura y velocidad de calentamiento

La temperatura y la velocidad de calentamiento se puede cambiar con la intención de lograr distintas cantidades y propiedades de los co-productos obtenidos del proceso de pirólisis: Biochar, bioaceite y gas. Es imprescindible indicar que para aumentar el rendimiento de la producción de biochar, en todo momento se está a expensas de la

producción de gas y bioaceites. Por ejemplo, la pirolisis rápida es de particular interés porque los líquidos pueden almacenarse y transportarse de manera más fácil y al mínimo costo a comparación de las formas de biomasa gaseosa o sólida. No obstante, respecto a la utilización del biochar como transformador del suelo y para disminuir el cambio climático, es notable que la pirolisis lenta sería claramente preferible porque aumenta la productividad del biochar.

2.2.6. El suelo

Porta et al. (2014) sostiene que el suelo conforma una capa delgada en la superficie de la tierra, de unos pocos centímetros a varios metros. Como elemento natural, el suelo forma una interfaz que concede intercambios entre la atmósfera, biosfera y litosfera. El suelo facilita que las plantas puedan enraizar (anclaje), para que puedan absorber nutrientes, agua y oxígeno. Gracias al suelo y a los rayos del sol, las plantas realizan la fotosíntesis, produciendo sus alimentos, fibras, forrajes, masas forestales y energías renovables. El suelo es la base los ecosistemas terrestres, es por ello que hace factible la vida en el mundo.

A lo que Jiménez (2017) agrega que el suelo es un elemento natural, tridimensional y dinámico, que recubre la superficie de la Tierra como si fuese la piel. Es un sistema abierto, muy complejo, de carácter estructural y sobre todo multifuncional. Es uno de los recursos naturales más esenciales, porque lleva a cabo un sinnúmero de labores, donde se resalta la producción de alimentos. Asimismo, es preciso indicar que el suelo es el soporte vital y cumple el rol más importante en el medio ambiente. En general, todos los suelos, sean contaminados o no, contienen una variada gama de compuestos presentes de forma natural, que incluyen metales, no metales, iones inorgánicos y sales (por ejemplo, fosfatos, carbonatos, sulfatos, nitratos), así como otros compuestos orgánicos (tales como lípidos, ácidos grasos, hidrocarburos, alcoholes, etc.). Este conjunto de compuestos se genera fundamentalmente a través de una serie de procesos derivados de la

actividad microbiana del suelo y la descomposición de organismos (principalmente plantas y animales). Cuando las cantidades de algunas de estas sustancias potencialmente contaminantes del suelo exceden los niveles naturales se dice que se contamina.

Ampliando los conceptos anteriores Navarro & Navarro (2013) agregan que independientemente del origen del suelo, tiene una importante tarea que es de sostener una vegetación, y donde se debe proporcionar las condiciones necesarias para el crecimiento de las plantas que se encuentran en ella. La consideración del suelo como sustrato del crecimiento vegetal es el ejemplo más antiguo de los considerados. Intenta examinar, hacer mejoras, poner orden y pronosticar el desarrollo de las plantas sobre la base de la habilidad y manipulación del suelo frente a distintos usos como es la fertilización, riego, etc. Las propiedades más importantes del suelo para este modelo son los siguientes: Conductividad del calor, agua útil, nutrientes fácilmente absorbibles, expansión del sistema radicular, etc. A través de este punto de vista, hallamos un concepto de fisiología vegetal que establece al suelo como una combinación de partículas sólidas, agua y aire, a las que se les suministran los nutrientes que necesitan las plantas, y de esta forma puedan servir como un factor de apoyo para una vegetación.

Tabla 2

Composición de un suelo superficial franco en buenas condiciones para el desarrollo vegetal.

Componente del suelo	% Volumen	% Peso
Materia mineral	45	81
Materia orgánica	5	2
Agua	20-30	17
aire	20-30	-

Nota: Dentro de ellos, el volumen de agua y el de aire tienen una relación inversa entre sí, ya que, al eliminarse el agua por evaporación, drenaje o crecimiento de la planta, el espacio poroso que se encontraba ocupado por ella es llenado de nuevo por aire (Navarro & Navarro, 2013 p. 42).

Propiedades fisicoquímicas del suelo

La acción combinada de los factores de formación determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo y, en el caso de los suelos agrícolas se añade el impacto de las actividades humanas. A su vez, de igual forma deciden en su mayoría la actividad química y biológica y, lo que a su vez afecta su capacidad productiva.

Desde el enfoque físico, los suelos minerales es una combinación casi suelta de partículas minerales y materia orgánica en la fase sólida, agua en la fase líquida y aire en la fase gaseosa, que interaccionan entre sí y que influyen de forma particular en el volumen del suelo. Estos componentes forman un sistema altamente complejo y disperso de naturaleza porosa, algunos de los cuales son muy estables, algunos son inestables y algunos son muy inestables (Navarro & Navarro, 2013. p. 51). Las partículas minerales a menudo se mezclan entre sí y con la MO, total o parcialmente humificada, en lo que se conoce como complejo mineral del suelo. El simple análisis de cualquier suelo nos permite comprobar lo siguiente:

- Se encuentra constituido por partículas sólidas de diferentes tamaños, por lo que esta característica básica nos conduce a la definición de textura.
- Dichas partículas se agrupan para crear unidades estructurales. Este segundo nivel de organización, nos conduce a la definición de estructura.
- Como resultado parcial de la textura y estructura, se define los espacios porosos, dónde ocurrirán todos los fenómenos hidro-gaseosos y donde habitarán diversas especies de organismos del suelo.
- Este complejo sistema con el tiempo se modifica, pudiendo localizar cambios cualitativos y cuantitativos de mucha importancia en un período de tiempo muy corto.

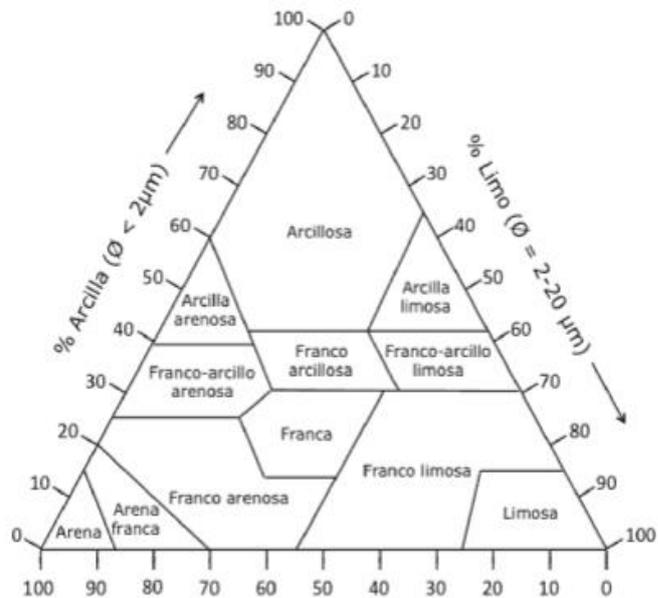
- Asimismo, estos cambios conducirán a diversos grados de cambios a lo largo de la actividad biológica del suelo.

Textura del suelo

Las propiedades físicas de los suelos están determinadas fundamentalmente por el tamaño y orden de las partículas que lo componen, y están estrechamente relacionadas con dos conceptos básicos: Textura del suelo que es la formación centesimal de las partículas, y la estructura del suelo que es el aspecto que tienen esas partículas de combinarse entre ellas y con otros componentes del suelo, como la MO. Considerando la influencia significativa del tamaño de las partículas en las propiedades más importantes de todo suelo.

Figura 4

Diagrama para la determinación de la textura de un suelo.



Nota: El diagrama triangular equilátero exhibe la composición mecánica del suelo por un punto, en lugar de una línea de distribución, como lo elaboran las curvas de acumulación. En este triángulo equilátero, los porcentajes de las 3 fracciones principales (arena, arcilla y limo) se indican sobre cada uno de los lados (Navarro & Navarro, 2013).

La determinación de la textura indica que, para un suelo en particular, la proporción que ocupa en cada uno de sus elementos constituyente: Limo, arcilla, arena gruesa, arena fina. En resumen, es un análisis granulométrico donde se evalúa el tamaño de las partículas. Por lo tanto, en función de la textura del suelo, se toma en cuenta 4 grupos básicos y generales: Arenosos, arcillosos, francos, líticos o pedregosos. Para una diferenciación precisa el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) establece un método de reconocimiento basado en el diagrama triangular equilátero, a continuación se muestra la figura, y en el que se distingue 12 texturas distintas (Navarro & Navarro, 2013. p. 52).

Materia orgánica

La materia orgánica del suelo (MOS) es el resultado no vivo, producido por la descomposición de las plantas y animales, que va ocurriendo a diferentes ritmos entre las regiones, a causa de diversos factores, algunos de los cuales están relacionados con la composición del suelo. Su estructura puede cambiar en el espacio y tiempo, debido a la influencia de estas variables. Hay una cauta diferencia entre la materia orgánica del suelo y el material orgánico. Dado que la materia orgánica del suelo es el resultado obtenido de la descomposición, mientras que el material orgánico forma parte del producto no vivo, pero de forma particulado sobre el suelo antes de someterse a la descomposición. Además, las raíces vivas no son consideradas materia orgánica del suelo, menos aún los animales que habitan sobre el suelo. La concentración de materia orgánica del suelo suele ser mayor en el horizonte superficial y toma la forma de decaimiento casi exponencial a medida que el suelo se profundiza. Sin embargo, este material se puede dividir en diferentes partes, estos productos no representan final y estática en términos fisicoquímicos. Por el contrario, las cantidades reflejan un equilibrio dinámico. Las sustancias húmicas (Ácidos fúlvicos y húmicos) y no húmicas (Aminoácidos, ácidos orgánicos de bajo

peso molecular, proteínas, cera, polisacáridos y otros) se agrupan en la materia orgánica del suelo. Estas composiciones están angostamente relacionadas entre sí. La calidad y cantidad de la materia orgánica del suelo se ve influenciada principalmente por los insumos de residuos vegetales y animales, especialmente en el ecosistema. Los restos de plantas contienen en un rango de 60 a 90% de humedad. La materia seca está constituida primordialmente de Oxígeno y Carbono, Hidrógeno, Magnesio, Potasio, Nitrógeno, Fósforo, Calcio. La materia orgánica del suelo tiene en media 58% de Carbono (Da Silva, 2014).

La materia orgánica del suelo (MOS) es un componente importante de los ecosistemas terrestres, en fines de distribución y concentración. Su contenido y calidad tienen una influencia importante en los avances que se dan en los ecosistemas acuáticos y terrestres. El equilibrio entre las fracciones es dinámico y conceptualmente establecido por las pérdidas y ganancias. Sin embargo, depende de las prácticas agrícolas y de los sistemas de manejos adoptados, el suelo puede ser una fuente o sumidero de carbono.

El vínculo entre las proporciones de carbono y nitrógeno en el suelo es un indicador de la modificación de la materia orgánica del suelo. Cuando se obtiene la humificación de la materia orgánica del suelo, los microorganismos utilizan el carbono como fuente de energía (sintetizan proteínas), por lo que se libera un exceso de nitrógeno para las necesidades de los microorganismos. El valor de equilibrio de este vínculo está en función de los factores de formación y transformación del suelo (Da Silva, 2014).

Carbono (C) del suelo

El carbono es un componente importante y fundamental de la materia orgánica del suelo (MOS), por lo tanto, es un factor determinante en la calidad del suelo. Participa en diversos procesos biológicos, físicos y químicos del suelo,

cumpliendo la función de reguladores en el rendimiento de los cultivos, influenciando en la calidad del suelo y medio ambiente. El cambio en el contenido de carbono del suelo nos indica que el suelo está actuando como fuente que sería como “pérdida” o sumidero que vendría a ser “ganancia”. Uno de los causantes que se realiza como los más influyentes en los procesos de secuestro de carbono en el suelo es la adición del suelo, debido a la influencia de hongos y sustancias orgánicas que provienen de las raíces de las plantas (Da Silva, 2014).

El secuestro de carbono en el suelo juega un papel importante en el equilibrio ecológico, ya que se ha informado que los ambientes terrestres son alternativas a las medidas de mitigación del cambio climático. Entre esos ecosistemas, el suelo es indicado como el mayor compartimiento de carbono. Aunque, debido a su vulnerabilidad de pérdidas, a corto y largo plazo, el carbono del suelo debe conservarse para mitigar los efectos negativos del cambio climático. DE la misma manera, la pérdida de carbono afecta el ciclo y almacenamiento de otros nutrientes, la agregación de los suelos, la dinámica del agua, la actividad biológica, provocando desequilibrios en el sistema y acrecentando el proceso de degradación ambiental.

Nitrógeno (N) del suelo

De la misma manera que el Carbono, el Nitrógeno es un componente esencial de la materia orgánica del suelo. El Nitrógeno es esencial para la síntesis de clorofila, proteínas, hormonas, ácidos nucleicos, entre otros diversos compuestos esenciales para el crecimiento de las plantas. Su deficiencia o ausencia en el suelo es una limitante del crecimiento de las plantas. Gran parte del ciclo del Nitrógeno está relacionado con el ciclo del Carbono. Por lo tanto, se puede verificar que

una vez que se cambia la cubierta del suelo, se producen cambios significativos en el flujo de materia orgánica a la superficie del suelo. Esto cambia las proporciones de Materia Orgánica del Suelo y, por lo tanto, la proporción de Carbono y Nitrógeno, lo que cambia la calidad del suelo (Da Silva, 2014).

Capacidad de intercambio iónico y catiónico del suelo (CIC)

El intercambio iónico se puede definir como un conjunto de procesos reversibles en los que las partículas coloidales del suelo, por la carga que soportan, retienen iones, aniones y cationes, de la disolución del suelo, librando en el momento a otros iones en cantidades iguales a las adsorbidas, estableciéndose de esta forma un equilibrio entre las dos fases (Navarro & Navarro, 2014).

Tabla 3

Valores óptimos de la Capacidad de Intercambio catiónico de un suelo

CIC TOTAL meq/100g	NIVEL	VALORACIÓN
0-10	Muy bajo	Suelo muy pobre
10-20	Bajo	Suelo pobre
20-35	Medio	Suelo medio
35-45	Medio-alto	Suelo rico
> de 45	Alto	Suelo muy rico

Nota: Las unidades para establecer las relaciones son meq del catión/100 gramos (en algunos lugares se expresa como cmol(+)/Kg, que es lo mismo) (Porta et al., 2014).

El proceso de intercambio iónico es ilimitados y reversible. Por ello, son de suma importancia por su influencia decisiva en las propiedades físicas y químicas del suelo, en la nutrición de las plantas que allí crecen, en el mejoramiento por acidez u otros defectos que pueden aparecer en algún momento en algún cultivo

específico, y en la manera de obrar y ser retenidos los fertilizantes que se añaden.

El evento de intercambio catiónico permite la absorción indiferente de nutrientes catiónico para reemplazarlos por otras sustancias, dejando una disolución que es absorbida por las plantas. Además, los cationes concentrados en los fertilizantes pueden almacenarse en el suelo a través de este fenómeno de intercambio. Por esta razón, es necesario saber cuántos cationes y otras sustancias coloidales pueden contener el suelo.

El pH del suelo

La reacción de los suelos se expresa por el pH ($-\log[H^+]$), que corresponde disolución salina o a su fase acuosa. Pero eso y los coloides ionizables que contienen son los modificares de sus diversos valores. El suelo normal tiene un valor entre 3 (suelos muy ácidos) y 12 (suelos muy alcalinos). Según ellos, hay tres estados posibles: Ácido, Neutro y Básico (Navarro & Navarro, 2014).

Tabla 4

El pH del suelo y su relación con el crecimiento de la planta

pH del suelo	Desarrollo de la planta
8.3	Demasiado alcalino para la mayoría de las plantas
7.5	La disponibilidad del hierro es un problema en el suelo alcalino
7.2	
7.0	de 6.8 a 7.2 casi neutral / de 6.0 a 7.5 aceptable
6.8	para la mayoría de las plantas
6.0	
5.5	Reduce la actividad microbiológica del suelo y limita el desarrollo de la planta

Nota: En un suelo muy ácido, el aluminio y manganeso están más disponibles y eso los hace más tóxicos, mientras que el calcio, fósforo y magnesio están menos disponibles para la planta (Porta et al., 2014).

Acidez

La acidez de los suelos es el resultado de varios procesos que ocurren naturalmente según el tipo de suelo, las condiciones de manejo y del cultivo. El conocimiento de estos procesos permite un mejor control de las causas fundamentales que originarían la acidez del suelo. Cuando el suelo se considera neutro, se determina saturado con iones básicos (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+), que neutralizan la carga eléctrica de los coloides en el suelo. Cuando estos cationes se pierden, se producirá la acidificación del suelo. Esta pérdida de bases se debe también a la actividad de las raíces de las plantas, que al ser absorbidas los cationes liberan H^+ para mantener su equilibrio interior, lo que contribuye a una disminución del pH en el suelo.

La lixiviación de igual forma contribuye a la acidez del suelo, de la misma manera que la MO del suelo cuando se descompone por acción microbiana produce un suministro constante de dióxido de carbono que se convierte rápidamente en bicarbonato (HCO_3^-) por la siguiente reacción: $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$ Esta reacción proporciona H^+ , que va reduciendo el pH y bicarbonato (HCO_3^-) que se combinan fácilmente con los cationes básicos lavándolos de la estructura del suelo, promoviendo así condiciones favorables para la acidificación. La MO del suelo también contiene grupos fenólicos y carboxílicos que se disocian para liberar iones H^+ cuando el suelo se disuelve. El contenido de MO varía de una región a otra, por lo que su contribución a la acidez del suelo también varía (Navarro & Navarro, 2014).

Basicidad

La basicidad ocurre cuando hay escasez de agua y el compuesto coloidal tiene una alta saturación de bases. Por esta razón, y por sus propiedades básicas, puede hidrolizarse

dando como resultado una disolución del suelo de OH^- sobre los H^+ producidos durante la disociación.

Los aportes orgánicos tienen gran incidencia, siempre menores que en los climas húmedos; la disminución de la actividad microbiana debido a la reducción de la humedad y las contribuciones de las plantas; y los avances de meteorización de los minerales del suelo al descomponerse liberan cationes que pueden enriquecer los complejos coloidales. Este aumento con mayor frecuencia en los suelos de las regiones áridas y semiáridas, porque, al ser con poca precipitación, la filtración del agua no elimina los cationes metálicos que se producen durante la meteorización. En general, este modo es adecuado para la producción de cultivos, y sólo cuando el pH es demasiado alto, o cuando el sodio es el catión predominante (suelos alcalinos salinos), puede verse afectado el crecimiento de las plantas (Navarro & Navarro, 2014).

2.2.7. Suelos degradados

En cuanto el suelo logra la madurez y el equilibrio, puede mantenerse de forma dinámica en dicho estado por un largo periodo de tiempo. A pesar de que, este equilibrio puede verse alterado fácilmente por acciones humanas como: La minería, industria, ganadería, agricultura, etc.). Este tipo de cambio negativo de la tierra se conoce como “degradación” y se entiende como cualquier proceso que reduce la capacidad actual y potencial de la tierra para producir bienes y servicios en cantidad y calidad. Dado que la tasa de formación y renovación del suelo es muy lenta y que, por el contrario, la degradación es mucho más rápida, llegando incluso a su destrucción, es evidente la necesidad de controlar los procesos de degradación.

Se entiende por degradación potencial aquella que se produciría en el supuesto de continuar con las condiciones actuales de uso y manipulación. Mientras tanto que el deterioro actual hace referencia al

estado actual en función a los tipos de particulares de degradación. Riesgo del deterioro es la reducción de la actual productividad o potencial como consecuencia de uno o más procesos de degradación. (Jiménez, 2017. p. 4-5).

Cuando las sustancias se acumulan en el suelo hasta tal punto que afectan negativamente su comportamiento, se dice que el suelo se “degrada”, de tal manera que las sustancias en esas concentraciones, exhiben algún grado de toxicidad para el suelo y sus organismos; al mismo tiempo que se ocasiona la pérdida parcial o total de la eficiencia del suelo.

Se puede agregar al suelo una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos, de diversas fuentes. Por tanto, los pesticidas se añaden de manera directa mediante el tratamiento superficial o aéreo. Otros contaminantes se depositan en forma húmeda o seca como partículas atmosféricas. Los contaminantes también pueden ingresar a la tierra a través de los desechos municipales o las aguas residuales de los vertederos, etc (Jiménez, 2017. p. 6).

Tabla 5

Tipos de degradación del suelo

Degradación física	Degradación Química	Degradación biológica
Compactación y endurecimiento	Perdida de la fertilidad	Perdida de la materia orgánica
Erosión y desertificación (eólica e hídrica)	Desequilibrio elemental (acidificación + componentes tóxicos, salsodificación)	Reducción de la macro y microflora
Deterioro de la estructura		

Nota: La contaminación del suelo se entiende como una degradación química y, por ello, como un proceso o procesos que implica la pérdida de productividad (Jiménez, 2017).

2.2.8. Maíz (*Zea mays* L.)

El *Zea mays* L. es considerado como uno de los granos más antiguos que se conoce. Corresponde a la familia de las Poaceae (Gramínea) y es la única especie cultivada de este género. Se trata de un cultivo muy diverso que, según la evidencia encontrada, probablemente se originó en Mesoamérica (México y Guatemala), posiblemente en el centro o sur de México (Méndez, 2020. p. 7).

Morfología del *Zea mays* L.

La estructura de la planta se puede definir de la siguiente manera:

Consta de una raíz fibrosa y un tallo erguido que varía en tamaño según al cultivo con hojas lanceoladas dispuestos y encajados en el tallo, es una panoja con flores masculinas, puesto que las femeninas se ubican a un nivel bajo y donde se da origen a la mazorca (Méndez, 2020. p. 8). La altura de la planta puede llegar a los 2.50 m, en función al cultivo y las circunstancias de aprovechamiento y sus características botánicas fundamentales son:

La Raíz

El sistema radicular consta de una raíz primaria, donde surge en la radícula y muy poco tiempo después de la germinación. Para después formar un sistema de raíces adventicias que crecen en la parte superior de la corona del tallo y se enlazan firmemente por debajo de la tierra. El crecimiento de las raíces dependerá de dos factores: Humedad y las circunstanciales de arado ocurren en un suelo suelto bien preparado, poroso y bien humedecido desde el comienzo de la germinación, las raíces pueden ser lo más profundas posible alcanzando hasta 1.80 m. Se estima que los suelos tipo franco arenosos crecerán rápidamente en los primeros 25 días con un tamaño que se aproxime a 40 - 50 cm donde aumentará en mayor a menor tamaño en función a las condiciones fértiles, húmedas y porosas son favorables y puedan lograr una profundidad en el rango de 1.60 a 1.80 m.

El Tallo

Crece recto con una estructura carnosa compuesta por nudos, que se convierte en el eje central del soporte de la planta donde las hojas se adhieren en posiciones alternas. La resistencia del interior es filamentosos y carnoso con mucha abundancia de agua.

La Hoja

Se coloca y ordena alternativamente en el tallo con un número de 20 a 30 hojas, constituidos por una vaina, el cuello y el plano foliar, con una estructura elástica y fuertes nervaduras centrales con nervaduras paralelas. La superficie es rugosa y pubescente, la vaina es de forma cilíndrica abierta hasta el Terminal que envuelve el tallo, la longitud de la hoja que son de mayor longitud son del nivel intermedio donde alcanza de 0.8 – 1.10 m.

Inflorescencia

Es una espiga ubicada como terminación al final del tallo (ápice) conformada de 25 a 30 espiguillas que poseen dos flores rodeadas por 2 hojas cuyo nombre se les denomina “glumas” y asimismo están protegidas por los lemas. Recuerde que el *Zea mays L.* es una planta monoica que posee inflorescencia femenina y masculina. La flor está constituida por dos folículos, tres estambres fértiles y un pistilo.

2.2.9. Molle (*Schinus molle L.*)

Esta especie es fácilmente reconocible por sus hojas pendulares que al presionarlas tienen un aroma resinoso; produce pequeños frutos esféricos y rojizos, y pequeñas flores blancas agrupadas en racimos.

Es una especie muy extendida, registrada en México, Perú, Venezuela, Argentina, Ecuador, Bolivia y Brasil. En el Perú, la distrución de esta especie se encuentra en los departamentos de Huancavelica, Ancash, Arequipa, Huánuco, Cajamarca, La Libertad, Lima, Cusco, Pasco y Tacna. Su rango altitudinal varía entre los 200 y 3700 metros sobre el nivel del mar (Reynel & Marcelo, 2009).

Tabla 6

Clasificación científica del Schinus molle L.

Clasificación científica	
Nombre común	Molle
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Sapindales
Familia botánica	Anacardiáceas
Género	Schinus

Nota: La floración ha sido registrado principalmente entre marzo y junio; la fructificación entre enero y mayo (Reynel & Marcelo, 2009).

Es común en formaciones de bosques áridos estacionales, prefiriendo los cuerpos de agua cercanos y los suelos arenosos y profundos. Es una especie que no está en peligro de extinción, tiene una amplia distribución y se propaga con frecuencia (Reynel y Marcelo, 2009. p. 16).

Descripción botánica

Es un árbol de dimensión pequeña a mediana. Tiene una altura promedio de 3 metros a 5 metros de altura y el diámetro de su tronco es de 20 a 60 centímetros. El fuste suele ser muy fuerte y nudoso. Es coposo y tiene el follaje siempre verde, con la copa globosa desde el primer o segundo tercio (Reynel & Marcelo, 2009. p. 16-17).

Corteza

La corteza exterior está agrietada, es de color marrón claro, con placas de corteza rectangulares que con frecuencia se desprenden solas. La corteza interna es de color rosa - blanco y, a veces, tiene una ligera secreción de color blanco, con leve olor resinoso.

Hojas

Sus hojas son compuestas, alternas y pendulares (colgantes). Tienen de 20 a 30 centímetros de longitud. Cada una de ellas consta de 15 a 40 hojuelas o foliolos lanceolados, de 2.5 a 4 centímetros de largo por 0.4 a 0.8 centímetros de ancho. Tienen un ápice agudo y el borde denticulado irregulares. No tiene pelos y tienen un olor resinoso cuando se aprietan.

Flores

Sus flores aparecen en racimos compuestos (panículas) de diez a treinta centímetros de largo. Cada racimo tiene una inmensa cantidad de pequeñas flores de color blanco, cuya longitud es de aproximadamente 3 milímetros. Es una especie dioica, lo que significa que algunas plantas tienen flores masculinas y femeninas. Las flores tienen un solo sexo, lo que significa que las flores femeninas tienen pistilos y las otras flores masculinas tienen estambres. Las flores tienen 5 pétalos. Hay de 8 a 10 estambres en las flores masculinas y hay un pistilo muy pequeño en las flores femeninas. Los frutos son como unas esferas y rojizos, de cuatro a cinco milímetros de diámetro. A la madurez la cáscara es seca. Solo tiene una semilla. Tiene un fuerte olor resinoso cuando se aprieta.

2.3. Definiciones conceptuales

Biochar

Biochar, a veces denominado "pirocar", es el subproducto sólido rico en carbono obtenido de la carbonización de biomasa, como madera, estiércol u hojas, calentado a temperaturas entre 300 ° C y 1000 ° C a baja temperatura (preferiblemente cero) concentración de oxígeno. Este proceso se conoce como pirólisis (Ralebitso-Senior & Orr, 2016. p. 19).

Char

El término char se utiliza para denotar cualquier producto sólido resultante de la descomposición de material orgánico natural y sintético.

El biocarbón y el carbón vegetal se han distinguido teniendo en cuenta el uso final, el carbón vegetal se utiliza como combustible y energía, mientras que el biocarbón se dirige a la gestión ambiental y el secuestro de carbono (Ralebitso-Senior & Orr, 2016. p. 19).

Contaminación

Se comprende como una alteración indeseada en las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del suelo que finalmente afecta a los seres humanos, los animales, las plantas y al medio ambiente en general. Con vínculo a la calidad del suelo, este será un proceso que reduce su usabilidad (Jiménez, 2017. p. 7).

Degradación

Proceso por el cual se reduce la capacidad presente y potencial de los suelos para generar bienes y servicios propios de su ecosistema.

Fertilizantes

Sustancias para suministrar macro o micronutrientes especialmente a suelos con carecen de elementos necesarios para el crecimiento vegetal (macronutrientes como Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre, Calcio y Magnesio, y micronutrientes como Boro, Cobre, Cobalto, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Níquel y Zinc). Este método se utiliza especialmente cuando se realizan sistemas de cultivos intensivos, puesto que en este caso es necesario cumplir con los altos requerimientos nutricionales de las especies cultivadas (Jiménez, 2017. p. 45).

Indicador

Variable usada para definir la fertilidad del suelo sean físicos, químicos y microbiológicos. Se miden sus atributos y con ello se puede referenciar el estado del suelo, su fertilidad o degradación.

Plaguicidas

Compuestos que contienen una variedad de productos químicos utilizados para proteger las plantas de los efectos negativos de otros

organismos que, a través de su actividad y expansión numérica, pueden convertirse en plagas con necesidad de un control (Jiménez, 2017. p. 45).

Pirolisis

Es la descomposición termoquímica de una sustancia orgánica por calentamiento en ausencia de O. El término pirólisis se deriva de las palabras griegas “pyro” que significa fuego y “lisis” que se refiere a la descomposición de sus elementos constituyentes. En la práctica no es posible crear un entorno completamente libre de O, por lo siempre se producirá una pequeña cantidad de oxidación (García Izquierdo et al., 2014. p. 22)

Suelos

Los suelos son secciones dinámicas, naturales y vivos, que realizan muchas funciones y brindan amplios servicios, lo que los convierte en una parte esencial de la biosfera. Son los responsables en la producción de la biomasa, regulan el ciclo hidrológico y mantienen en equilibrio el ecosistema (Porta et al., 2014. p. 23).

Suelo agrícola

Suelo designado a la producción de cultivos, pastos cultivados y forrajes, también es adecuado para el crecimiento de cultivos y desarrollo ganadero. Esto integra tierras consideradas como agrícolas, que mantienen el hábitat tanto para especies permanentes y transitorias, así como flora y fauna nativa, como áreas naturales protegidas (MINAM, 2013).

2.4. Sistema de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

H1: El biochar de molle (*Schinus molle* L.) tiene efecto en la recuperación de suelos degradados, usando como indicador el maíz (*Zea mays* L.), Huánuco 2021.

H0: El efecto de biochar de molle (*Schinus molle L.*) no tiene efecto en la recuperación de suelos degradados, usando como indicador el maíz (*Zea mays L.*), Huánuco 2021.

2.4.2. Hipótesis secundarias

H1: El biochar de molle (*Schinus molle L.*) al 5%, 15% y 30% tiene efecto sobre las características del maíz (*Zea mays L.*) como indicador.

H0: El biochar de molle (*Schinus molle L.*) al 5%, 15% y 30% no tiene efecto sobre las características del maíz (*Zea mays L.*) como indicador.

2.5. Sistema de variables

2.5.1. Variable dependiente

Suelos degradados, usando como indicador el maíz (*Zea mays L.*)

2.5.2. Variable independiente

Biochar de molle (*Schinus molle L.*)

2.6. Operacionalización de variables

Tesista: Bach. Cervantes Ramos, Jhadyra Guadalupe

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	VALOR FINAL	TIPO DE VARIABLE	
Biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.)	% de Biochar aplicable	Suelo degradado + Biochar 5%	%	Numérica Continua	
		Suelo degradado + Biochar 15%	%		
		Suelo degradado + Biochar 30%	%		
VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	VALOR FINAL	TIPO DE VARIABLE	
Suelos degradados, usando como indicador el maíz (<i>Zea mays</i> L.)	Parámetros Físicos	Textura	Arena-Limo-arcilla	Numérica discreta	
	Parámetros Químicos	pH	Ph metro		
		Materia orgánica total	%		
		Nitrógeno total	%		
		Fosforo total	ppm		
		Potasio total	ppm		
		CIC	meq/100g		
	Características del indicador	Altura de la planta	cm		Numérica Continua
		Longitud de raíz	cm		
	Número de hojas	und			

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La investigación sigue la siguiente taxonomía: Según la planificación de las mediciones de la variable de estudio es de tipo prospectivo porque se hallará las diferentes variables y mediciones; según el número de las variables de estudio es de tipo longitudinal porque se medirán más de una vez las variables de estudio; según el número es de tipo analítico porque cuenta con más de una variable (Supo, 2014).

3.1.1. Enfoque

La investigación presenta un enfoque cuantitativo, debido al uso de la estadística, el análisis, y la medición de los fenómenos. Además, de que se analiza la realidad de manera objetiva, respecto a procesos secuenciales y deductivos, a fin de poder obtener resultados, con la predicción y precisión de datos. (Supo, 2014).

3.1.2. Alcance o nivel

De acuerdo con los alcances establecidos en la investigación, presenta lo siguiente; según Supo (2014), tiene un nivel explicativo, porque se trata de explicar la relación de una variable sobre otra, de manera que sea confiable, el por qué ocurren ciertos fenómenos o por qué se relacionan las variables en cuestión.

3.1.3. Diseño

El presente estudio sigue el diseño experimental, debido a que se utilizó diferentes concentraciones de biochar. (Supo, 2014), el cual se ilustra en el siguiente esquema:

T0 ----- O1
G1 ---- X1 ----- O2
G2 ---- X2 ----- O3
G3 ---- X3 ---- O4

Donde:

- **G1, G2 y G3:** Grupos Control
- **X1, X2 y X3:** Tratamiento (Concentración de Biochar de *Schinus molle L.* al 5%, 15% y 30%)
- **O1, O2, O3 y O4:** Observación final

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población de estudio lo constituyó 100 m² de área de suelo. Cuyas características fueron de un suelo degradado según los análisis realizados.

Tabla 7

Coordenadas de ubicación del área de población en estudio.

Sector Ciro Martínez - Naranjillo	
Zona	18 L
Coordenadas Este:	9.234966 m E
Coordenadas Norte.	75.951762 m S

3.2.2. Muestra

Para la extracción de la muestra se empleó el muestreo no probabilístico, siendo el tipo de muestreo intencionado o por conveniencia debido a que prevalecerán los criterios del investigador, la muestra fue 50 kg de suelo degradado, donde cada macetero se llenó con 2 kilogramos.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Para la recolección de datos

Tabla 8

Las técnicas e instrumentos para la recolección de datos de la presente investigación de nivel aplicado

Variables	Técnica de recolección de datos	Instrumentos
Suelos degradados	Observación y laboratorio de análisis de suelos	Guía de toma de muestra para suelo
Biochar de <i>Schinus molle</i>	Elaboración	Guía de elaboración de biochar de manera artesanal

Materiales y equipos

Materiales para elaboración del biochar.

- Horno pirolítico tipo doble cilindro
- Termómetro infrarrojo (-50°C ~ 800°C)
- Balanza
- Mortero de loza
- Tamiz de 2mm
- 16 maceteros
- Semillas pre germinadas de maíz (*Zea mays L.*)
- Ramas de molle (*Schinus molle L.*)
- Ramas de eucalipto (leña)
- Invernadero
- Guantes de cuero
- Cuaderno de apuntes
- Lapicero
- Cámara fotográfica

Procedimiento para la elaboración del biochar

Se dejó secar las ramas del molle por 24 horas, de la misma forma el suelo degradado para eliminar la humedad. Se utilizó un horno tipo doble cilindro con una chimenea en la tapa superior, construido de forma casera siguiendo el diseño recomendado por el Departamento de Montes de la FAO. El cilindro más grande tuvo una capacidad de 56 galones y el cilindro más pequeño tuvo una capacidad de 20 galones. Se llenó la base del cilindro grande con leña, se ubicó el cilindro mediano llenado con ramas de molle dentro del cilindro grande, en los espacios vacíos entre los dos cilindros se relleno con leña de igual forma se realizó el mismo procedimiento en la parte superior hasta rellenar por completo el cilindro grande, se prendió la leña y se cerró el cilindro grande. Se controló la temperatura del cilindro cada 30 minutos con el termómetro infrarrojo, donde el promedio de la temperatura calculado estuvo en un rango de 400 °C a 450 °C. Se realizó dos producciones, obteniéndose un total de 9 kg de biochar de *Schinus molle L.*, en aproximadamente 4 horas y otras 3 horas de enfriamiento.

Se trituró y tamizó el biochar, asimismo se tamizó el suelo degradado. Luego se homogenizó el suelo con el biochar en los porcentajes del 5%, 15% y 30% en 5 repeticiones de cada uno y un testigo, se dejó reposar por 15 días y posteriormente se removió el suelo y se plantó el maíz pre germinado para evaluar su crecimiento por 60 días.

Muestreo de suelo

Se realizó un reconocimiento del terreno en Sector Ciro Martínez – Naranjillo, y se trabajó según Guía para el Muestreo de Suelos en el Marco del DS N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

Tabla 9

Profundidad usada en el muestreo del suelo

USOS DEL SUELO	PROFUNDIDAD DEL MUESTREO (CAPAS)
Suelo Agrícola.	0 – 30 cm (1) 30 – 60 cm

Nota: Guía para el Muestreo de Suelos / Ministerio del Ambiente. Dirección General de Calidad Ambiental., (2014).

Se trabajó en un área de 100 m² y se realizaron 5 calicatas (en cada lado y uno al centro) con una profundidad de 30 centímetros. Las muestras fueron homogenizadas según el método del cuarteo.

Se enviaron tres muestras iniciales al laboratorio de la UNAS antes de realizar el trabajo ex situ con tratamientos aplicando biochar de molle por un periodo de 75 días.

Se enviaron muestra post tratamiento, para evaluar los efectos. Las 16 muestras se enviaron en bolsas de polipropileno (ziploc) rotulados correctamente en un cooler con temperaturas menores a 8 °C según las recomendaciones del laboratorio de análisis de suelo.

Materiales para muestreo de suelo

- Pala
- Pico
- Wincha
- Balanza de mano
- bolsas ziploc
- Cooler

3.3.2 Para la presentación de datos

Los datos son presentados con el uso de tablas estadísticas, además de gráficos, con redacción científica, en la que se interpreta los resultados que fueron contrastados.

3.3.3 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

El análisis de los datos se dio con la presentación de tablas, gráficos procesados a través del software estadístico SPSS, como también del Excel Microsoft office en la que se explican los procesos que contrastan las hipótesis.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Procesamiento de datos

Tabla 10

Características fisicoquímicas del suelo degradado antes de la aplicación del biochar de molle (Schinus molle L.)

		95% del intervalo de confianza para la media						
		N	Media	Error estándar	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
pH_pre	0	2	4.3000	0.00000	4.3000	4.3000	4.30	4.30
	1	5	4.2300	0.00000	4.2300	4.2300	4.23	4.23
	2	5	4.3300	0.00000	4.3300	4.3300	4.33	4.33
	3	5	4.3400	0.00000	4.3400	4.3400	4.34	4.34
MO_pre	0	2	0.3800	0.00000	0.3800	0.3800	0.38	0.38
	1	5	0.3900	0.00000	0.3900	0.3900	0.39	0.39
	2	5	0.3100	0.00000	0.3100	0.3100	0.31	0.31
	3	5	0.4500	0.00000	0.4500	0.4500	0.45	0.45
N_pre	0	2	0.0200	0.00000	0.0200	0.0200	0.02	0.02
	1	5	0.0200	0.00000	0.0200	0.0200	0.02	0.02
	2	5	0.0200	0.00000	0.0200	0.0200	0.02	0.02
	3	5	0.0200	0.00000	0.0200	0.0200	0.02	0.02
P_pre	0	2	5.0800	0.00000	5.0800	5.0800	5.08	5.08
	1	5	5.0300	0.00000	5.0300	5.0300	5.03	5.03
	2	5	5.0700	0.00000	5.0700	5.0700	5.07	5.07
	3	5	5.1500	0.00000	5.1500	5.1500	5.15	5.15
K_pre	0	2	93.7800	0.00000	93.7800	93.7800	93.78	93.78
	1	5	92.5700	0.00000	92.5700	92.5700	92.57	92.57
	2	5	93.2600	0.00000	93.2600	93.2600	93.26	93.26
	3	5	95.5100	0.00000	95.5100	95.5100	95.51	95.51
CIC_pre	0	2	0.0000	0.00000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
	1	5	0.0000	0.00000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
	2	5	0.0000	0.00000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
	3	5	0.0000	0.00000	0.0000	0.0000	0.00	0.00

Nota: Elaboración propia

Se muestran los resultados descriptivos del pretest de las características fisicoquímicas del suelo degradado. Se presenta las medias y los límites calculados de los intervalos.

Tabla 11

Características fisicoquímicas del suelo degradado después de la aplicación del biochar de molle

		N	Media	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
pH_pos	0	2	5.1000	0.00000	5.1000	5.1000	5.10	5.10
	1	5	6.3140	0.15961	5.8708	6.7572	5.70	6.60
	2	5	8.5800	0.03391	8.4858	8.6742	8.49	8.68
	3	5	9.3220	0.06414	9.1439	9.5001	9.12	9.49
MO_pos	0	2	0.9500	0.00000	0.9500	0.9500	0.95	0.95
	1	5	1.2240	0.05836	1.0620	1.3860	1.07	1.39
	2	5	2.4900	0.12054	2.1553	2.8247	2.11	2.87
	3	5	2.3900	0.08337	2.1585	2.6215	2.14	2.65
N_pos	0	2	0.0500	0.00000	0.0500	0.0500	0.05	0.05
	1	5	0.0620	0.00374	0.0516	0.0724	0.05	0.07
	2	5	0.1240	0.00510	0.1098	0.1382	0.11	0.14
	3	5	0.1200	0.00316	0.1112	0.1288	0.11	0.13
P_pos	0	2	5.6000	0.00000	5.6000	5.6000	5.60	5.60
	1	5	11.0320	0.39416	9.9376	12.1264	10.04	12.17
	2	5	17.2180	0.44801	15.9741	18.4619	15.51	18.13
	3	5	24.8480	0.76877	22.7135	26.9825	22.68	26.38
K_pos	0	2	93.6300	0.00000	93.6300	93.6300	93.63	93.63
	1	5	336.9680	2.85960	329.0285	344.9075	330.05	344.57
	2	5	389.3060	5.55930	373.8709	404.7411	374.40	406.41
	3	5	375.2600	7.23236	355.1798	395.3402	349.23	390.55
CIC_pos	0	2	0.0000	0.00000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
	1	5	5.4760	0.09479	5.2128	5.7392	5.25	5.74
	2	5	6.9120	0.12733	6.5585	7.2655	6.65	7.36
	3	5	8.1600	0.13383	7.7884	8.5316	7.92	8.66

Nota: Elaboración propia

Se muestran los resultados descriptivos del post test de las características fisicoquímicas del suelo degradado. Se presenta las medias y los límites calculados de los intervalos.

Tabla 12

Características fisicoquímicas del suelo degradado calculando la diferencia (después – antes)

		95% del intervalo de confianza para la media						
		N	Media	Error estándar	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
pH_pos	0	2	0.8000	0.00000	0.8000	0.8000	0.80	0.80
	1	5	2.0840	0.15961	1.6408	2.5272	1.47	2.37
	2	5	4.2500	0.03391	4.1558	4.3442	4.16	4.35
	3	5	4.9820	0.06414	4.8039	5.1601	4.78	5.15
MO_pos	0	2	0.5700	0.00000	0.5700	0.5700	0.57	0.57
	1	5	0.8340	0.05836	0.6720	0.9960	0.68	1.00
	2	5	2.1800	0.12054	1.8453	2.5147	1.80	2.56
	3	5	1.9400	0.08337	1.7085	2.1715	1.69	2.20
N_pos	0	2	0.0300	0.00000	0.0300	0.0300	0.03	0.03
	1	5	0.0420	0.00374	0.0316	0.0524	0.03	0.05
	2	5	0.1040	0.00510	0.0898	0.1182	0.09	0.12
	3	5	0.1000	0.00316	0.0912	0.1088	0.09	0.11
P_pos	0	2	0.5200	0.00000	0.5200	0.5200	0.52	0.52
	1	5	6.0020	0.39416	4.9076	7.0964	5.01	7.14
	2	5	12.1480	0.44801	10.9041	13.3919	10.44	13.06
	3	5	19.6980	0.76877	17.5635	21.8325	17.53	21.23
K_pos	0	2	-0.1500	0.00000	-0.1500	-0.1500	-0.15	-0.15
	1	5	244.3980	2.85960	236.4585	252.3375	237.48	252.00
	2	5	296.0460	5.55930	280.6109	311.4811	281.14	313.15
	3	5	279.7500	7.23236	259.6698	299.8302	253.72	295.04
CIC_pos	0	2	0.0000	0.00000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
	1	5	5.4760	0.09479	5.2128	5.7392	5.25	5.74
	2	5	6.9120	0.12733	6.5585	7.2655	6.65	7.36
	3	5	8.1600	0.13383	7.7884	8.5316	7.92	8.66

Nota: Elaboración propia

Se muestran los resultados descriptivos de las diferencias calculadas en las características fisicoquímicas del suelo degradado, aquí podemos apreciar en qué indicadores se provocó una mayor diferencia respecto a los demás. Se presenta las medias y los límites calculados de los intervalos.

Tabla 13*Características fisicoquímicas del biochar*

Base	Indicadores	Biochar
Resultados en base húmeda	pH	8.74
	Humedad Hd (%)	1.51
	Materia Orgánica (%)	85.7
	Cenizas (%)	12.79
Resultados en base seca	Materia Orgánica (%)	87.02
	Cenizas (%)	12.98
	C (%)	43.51
	N (%)	0.72
	P2O5 (%)	0.66
	Ca (%)	0.143
	Mg (%)	0.108
	Na (%)	0.031
	K (%)	3.3
	Cu (ppm)	0.96
	Fe (ppm)	1.45
	Zn (ppm)	197.33
	Mn (ppm)	10.13

Nota: Elaboración propia

La tabla nos muestra que el pH de biochar es ligeramente alcalino, lo que compensa a la acidez del suelo, además de materia orgánica alta, óptimos para ser aplicados a suelos ácidos y con bajo porcentaje de materia orgánica.

Tabla 14

Prueba de normalidad de los datos con Kolmogorov-Smirnov

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	p-valor	Estadístico	gl	Sig.
TamañoPlanta	0.109	17	0,200	0.953	17	0.501
TamañoRaiz	0.144	17	0,200	0.962	17	0.660
NroHojas	0.298	17	0.200	0.825	17	0.100
pH_Dif	0.270	17	0.200	0.858	17	0.101
MO_dif	0.187	17	0.118	0.872	17	0.102
N_dif	0.252	17	0.200	0.833	17	0.100
P_dif	0.135	17	0,200	0.935	17	0.126
K_dif	0.366	17	0.200	0.619	17	0.100
CIC_dif	0.259	17	0.200	0.778	17	0.100

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Elaboración propia

La prueba de normalidad nos es útil para determinar la pertinencia de uso de un procedimiento estadístico paramétrico o no paramétrico. Contrastando el p-valor obtenido con un valor de significancia convencional de 5%, tenemos que podemos proceder el análisis de datos con el uso de procedimientos estadísticos paramétricos (ya que todos ellos superaron el 5%), tal como el Análisis de Varianza con un factor Inter sujetos. Estos resultados de normalidad son consecuentes con otros estudios realizados previamente en los mismos indicadores.

4.2. Contratación de hipótesis y prueba de hipótesis

Recuperación del suelo

Para determinar si existe un efecto positivo en la recuperación de suelos degradados por parte del biochar de molle (*Schinus molle L.*), es necesario el planteamiento una hipótesis de investigación, el cual presenta el análisis de los indicadores que evidencian la recuperación del suelo:

H1: El biochar de molle (*Schinus molle L.*) tiene efecto en la recuperación de suelos degradados, usando como indicador el maíz (*Zea mays L.*), Huánuco 2021.

La hipótesis nula es la que se opone a la hipótesis alterna.

Nivel de significancia: 5% = 0.05

Procedimiento estadístico paramétrico: Análisis de Varianza con un factor inter sujetos.

Cálculo del p-valor

Tabla 15

Análisis de Varianza con un factor inter sujetos.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH_Dif	Entre grupos	38,297	3	12,766	269,930	0,000
	Dentro de grupos	,615	13	,047		
	Total	38,912	16			
MO_dif	Entre grupos	7,218	3	2,406	62,840	0,000
	Dentro de grupos	,498	13	,038		
	Total	7,715	16			
N_dif	Entre grupos	,017	3	,006	72,851	0,000
	Dentro de grupos	,001	13	,000		
	Total	,018	16			
P_dif	Entre grupos	728,794	3	242,931	166,726	0,000
	Dentro de grupos	18,942	13	1,457		
	Total	747,735	16			
K_dif	Entre grupos	139021,708	3	46340,569	329,591	0,000
	Dentro de grupos	1827,801	13	140,600		
	Total	140849,509	16			
CIC_dif	Entre grupos	100,827	3	33,609	506,749	0,000
	Dentro de grupos	,862	13	,066		
	Total	101,690	16			

Nota: Elaboración propia

La prueba nos indica que existe diferencia en cada uno de los casos.

Tabla 16
Comparaciones múltiples

Variable dependiente			Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
pH_Dif	0	1	-1,28400*	0.18195	0.000	-1.8180	-0.7500
	0	2	-3,45000*	0.18195	0.000	-3.9840	-2.9160
	0	3	-4,18200*	0.18195	0.000	-4.7160	-3.6480
	1	2	-2,16600*	0.13754	0.000	-2.5697	-1.7623
	1	3	-2,89800*	0.13754	0.000	-3.3017	-2.4943
	2	3	-,73200*	0.13754	0.001	-1.1357	-0.3283
MO_dif	0	1	-0.26400	0.16371	0.406	-0.7445	0.2165
	0	2	-1,61000*	0.16371	0.000	-2.0905	-1.1295
	0	3	-1,37000*	0.16371	0.000	-1.8505	-0.8895
	1	2	-1,34600*	0.12375	0.000	-1.7092	-0.9828
	1	3	-1,10600*	0.12375	0.000	-1.4692	-0.7428
	2	3	0.24000	0.12375	0.260	-0.1232	0.6032
N_dif	0	1	-0.01200	0.00734	0.394	-0.0335	0.0095
	0	2	-,07400*	0.00734	0.000	-0.0955	-0.0525
	0	3	-,07000*	0.00734	0.000	-0.0915	-0.0485
	1	2	-,06200*	0.00555	0.000	-0.0783	-0.0457
	1	3	-,05800*	0.00555	0.000	-0.0743	-0.0417
	2	3	0.00400	0.00555	0.887	-0.0123	0.0203
P_dif	0	1	-5,48200*	1.00992	0.001	-8.4462	-2.5178
	0	2	-11,62800*	1.00992	0.000	-14.5922	-8.6638
	0	3	-19,17800*	1.00992	0.000	-22.1422	-16.2138
	1	2	-6,14600*	0.76343	0.000	-8.3867	-3.9053
	1	3	-13,69600*	0.76343	0.000	-15.9367	-11.4553
	2	3	-7,55000*	0.76343	0.000	-9.7907	-5.3093
K_dif	0	1	-244,54800*	9.92069	0.000	-273.6663	-215.4297
	0	2	-296,19600*	9.92069	0.000	-325.3143	-267.0777
	0	3	-279,90000*	9.92069	0.000	-309.0183	-250.7817
	1	2	-51,64800*	7.49933	0.000	-73.6593	-29.6367
	1	3	-35,35200*	7.49933	0.002	-57.3633	-13.3407
	2	3	16.29600	7.49933	0.182	-5.7153	38.3073
CIC_dif	0	1	-5,47600*	0.21547	0.000	-6.1084	-4.8436
	0	2	-6,91200*	0.21547	0.000	-7.5444	-6.2796
	0	3	-8,16000*	0.21547	0.000	-8.7924	-7.5276
	1	2	-1,43600*	0.16288	0.000	-1.9141	-0.9579
	1	3	-2,68400*	0.16288	0.000	-3.1621	-2.2059
	2	3	-1,24800*	0.16288	0.000	-1.7261	-0.7699

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Nota: Elaboración propia

Es necesario indicar que, de primera mano, el desarrollo de la prueba de hipótesis lo que hará es establecer si existe diferencias en el efecto de

recuperar el suelo entre los grupos establecidos en el estudio, siendo necesaria una interpretación analítica para evaluar el efecto en sí mismo de una variable sobre la otra.

Con la tabla de comparaciones múltiples veremos en qué grupos se diferencian uno a otro para establecer finalmente el efecto que tuvieron en la recuperación del suelo.

Características de mejora del maíz como indicador

Para determinar la concentración de biochar de molle (*Schinus molle L.*) que muestra una mayor mejora de las características del maíz (*Zea mays L.*) como indicador del suelo degradado, es necesario el planteamiento una hipótesis de investigación, el cual presenta el análisis del tamaño de la planta, tamaño de la raíz y el número de hojas.

H1: La concentración de biochar de molle (*Schinus molle L.*) que muestra una mayor mejora de las características del maíz (*Zea mays L.*) como indicador.

La hipótesis nula es la que se opone a la hipótesis alterna.

Nivel de significancia: 5% = 0.05

Procedimiento estadístico paramétrico: Análisis de Varianza con un factor inter sujetos.

Cálculo del p-valor

Tabla 17

Análisis de Varianza con un factor inter sujetos.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TamañoPlanta	Entre grupos	586,907	3	195,636	4,086	0,030
	Dentro de grupos	622,388	13	47,876		
	Total	1209,295	16			
TamañoRaiz	Entre grupos	558,553	3	186,184	4,454	0,023
	Dentro de grupos	543,368	13	41,798		
	Total	1101,921	16			
NroHojas	Entre grupos	5,718	3	1,906	1,998	0,164
	Dentro de grupos	12,400	13	,954		
	Total	18,118	16			

Nota: Elaboración propia

La prueba nos indica que existen diferencias en las mejoras provocadas en el tamaño de la planta y el tamaño de la raíz.

Tabla 18
Comparaciones múltiples

Variable dependiente	(I) Grupo	(J) Grupo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
TamañoPlanta	0,00	1,00	-10,28000	5,78906	,327	-27,2715	6,7115
		2,00	-19,34000*	5,78906	0,024	-36,3315	-2,3485
		3,00	-14,48000	5,78906	,106	-31,4715	2,5115
	1,00	0,00	10,28000	5,78906	,327	-6,7115	27,2715
		2,00	-9,06000	4,37612	,214	-21,9044	3,7844
		3,00	-4,20000	4,37612	,774	-17,0444	8,6444
	2,00	0,00	19,34000*	5,78906	,024	2,3485	36,3315
		1,00	9,06000	4,37612	,214	-3,7844	21,9044
		3,00	4,86000	4,37612	,690	-7,9844	17,7044
	3,00	0,00	14,48000	5,78906	,106	-2,5115	31,4715
		1,00	4,20000	4,37612	,774	-8,6444	17,0444
		2,00	-4,86000	4,37612	,690	-17,7044	7,9844
TamañoRaiz	0,00	1,00	-18,28000*	5,40909	0,022	-34,1563	-2,4037
		2,00	-18,26000*	5,40909	,023	-34,1363	-2,3837
		3,00	-16,02000*	5,40909	,048	-31,8963	-,1437
	1,00	0,00	18,28000*	5,40909	,022	2,4037	34,1563
		2,00	,02000	4,08889	1,000	-11,9813	12,0213
		3,00	2,26000	4,08889	,944	-9,7413	14,2613
	2,00	0,00	18,26000*	5,40909	0,023	2,3837	34,1363
		1,00	-,02000	4,08889	1,000	-12,0213	11,9813
		3,00	2,24000	4,08889	,945	-9,7613	14,2413
	3,00	0,00	16,02000*	5,40909	,048	,1437	31,8963
		1,00	-2,26000	4,08889	,944	-14,2613	9,7413
		2,00	-2,24000	4,08889	,945	-14,2413	9,7613
NroHojas	0,00	1,00	-1,20000	,81712	,482	-3,5983	1,1983
		2,00	-1,80000	,81712	,174	-4,1983	,5983
		3,00	-1,80000	,81712	,174	-4,1983	,5983
	1,00	0,00	1,20000	,81712	,482	-1,1983	3,5983
		2,00	-,60000	,61769	,768	-2,4130	1,2130
		3,00	-,60000	,61769	,768	-2,4130	1,2130
	2,00	0,00	1,80000	,81712	,174	-,5983	4,1983
		1,00	,60000	,61769	,768	-1,2130	2,4130
		3,00	,00000	,61769	1,000	-1,8130	1,8130
	3,00	0,00	1,80000	,81712	,174	-,5983	4,1983
		1,00	,60000	,61769	,768	-1,2130	2,4130
		2,00	,00000	,61769	1,000	-1,8130	1,8130

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

La tabla, según el p-valor obtenido nos indica que hay tres casos en que se ha obtenido un efecto diferente en las características de mejora del maíz como indicador (resaltados en negrita).

Tabla 19

Interpretación textural del suelo antes y después de la aplicación del biochar de molle (Schinus molle L.)

Textura inicial	Interpretación	Textura final	Interpretación
Arcilloso	Suelo pesado limitada capacidad para drenar agua y se satura con facilidad.	Para biochar al 5% = Arcilloso	Suelo pesado poca capacidad para drenar agua
		Para biochar al 15% = Franco Arcilloso	Exceso de arcilla retiene mucha agua
		Para biochar al 30% = Franco Arcilloso Arenoso	Suelo productivo por su fertilidad aportada por los limos, gran contenido de M.O y minerales en proporciones equilibradas.

Nota: Interpretación en base a lo establecido por el laboratorio de suelo UNAS.

Tabla 20

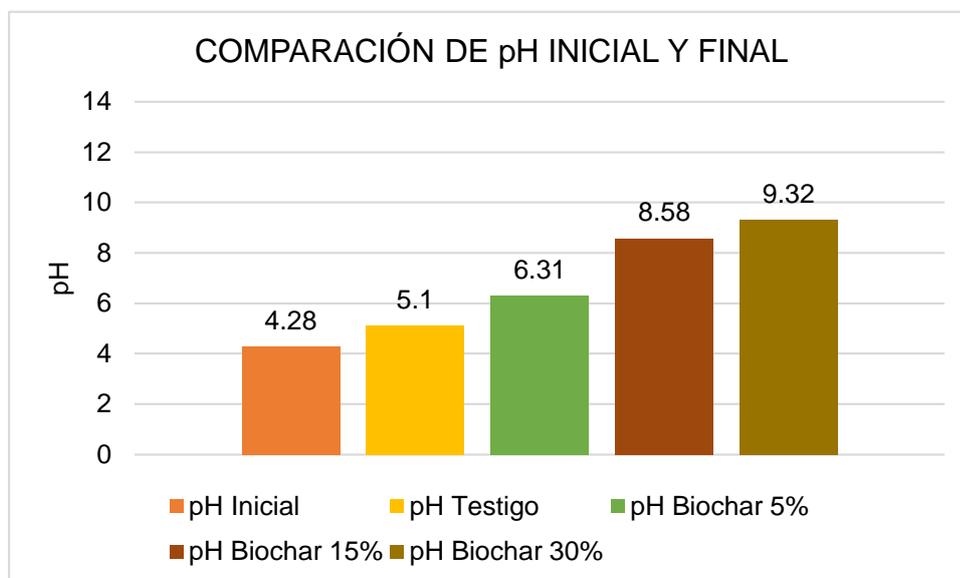
Interpretación del pH del suelo antes y después de la aplicación del biochar de molle (Schinus molle L.)

pH inicial	Interpretación	pH final	Interpretación
4.28	Reduce la actividad microbiológica del suelo y limita el desarrollo de la planta	Para biochar al 5% = 6.31	Aceptable para la mayoría de las plantas
		Para biochar al 15% = 8.58	Demasiado alcalino para la mayoría de las plantas
		Para biochar al 30% = 9.32	Demasiado alcalino para la mayoría de las plantas

Nota: Interpretación en base a: Edafología uso y protección de suelos (Porta et al., 2014).

Figura 5

Comparación de pH del suelo inicial y final, después de la aplicación del biochar de molle (*Schinus molle* L.)



Nota: En la figura se muestra la diferencia del pH inicial y final en la que descriptivamente el suelo con biochar al 30% tiene mayor incremento de Ph. Según Porta et al., (2014) en su libro "Edafología uso y protección de suelos" el suelo aceptable para la mayoría de las plantas sería con biochar al 5%.

Tabla 21

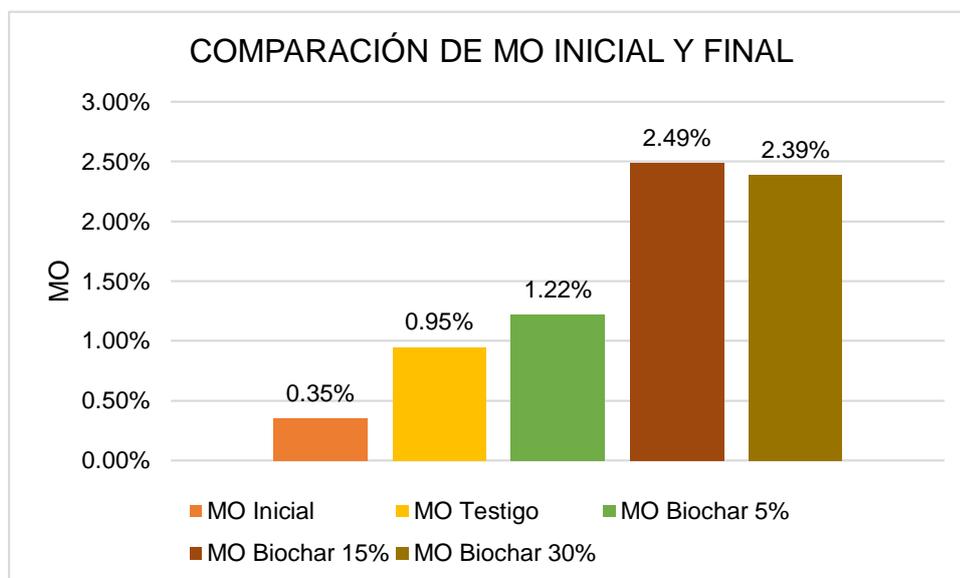
Interpretación de la materia orgánica (M.O) del suelo antes y después de la aplicación del biochar de molle (*Schinus molle* L.)

M.O inicial	Interpretación	M.O final	Interpretación
0.35 %	Bajo para suelo agrícola y desarrollo de plantas	Para biochar al 5% = 1.22 %	Bajo para suelo agrícola y desarrollo de plantas
		Para biochar al 15% = 2.49 %	Medio para suelo agrícola
		Para biochar al 30% = 2.39 %	Medio para suelo agrícola

Nota: Interpretación en base a lo establecido por el laboratorio de suelo UNAS donde el porcentaje de Materia Orgánica (%) es Bajo < 2; Medio 2.0 - 4.0 y Alto > 4.

Figura 6

Comparación de MO del suelo inicial y final, después de la aplicación del biochar de molle (*Schinus molle* L.)



Nota: En la figura se muestra la diferencia del pH inicial y final en la que descriptivamente el suelo con biochar al 5% tiene bajo MO y el biochar al 15% y 30% contienen la MO medio para suelo agrícola, según lo establecido por el laboratorio de suelos de la UNAS.

Tabla 22

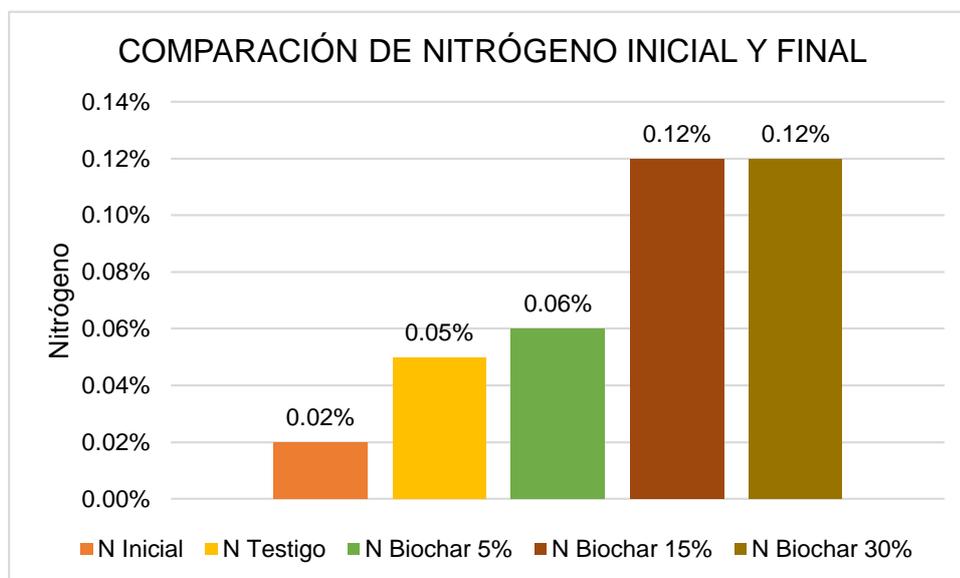
Interpretación del Nitrógeno (N) del suelo antes y después de la aplicación del biochar de molle (*Schinus molle* L.)

N inicial	Interpretación	N final	Interpretación
0.02 %	Demasiado bajo para suelos agrícolas	Para biochar al 5% = 0.06	Demasiado bajo para suelos agrícolas
		Para biochar al 15% = 0.12	Medio para suelos agrícolas, favorece a la materia orgánica
		Para biochar al 30% = 0.12	Medio para suelos agrícolas, favorece a la materia orgánica

Nota: Interpretación en base a lo establecido por el laboratorio de suelo UNAS donde el porcentaje de Nitrógeno total (N) es Bajo < 0.1; Medio 0.1 - 0.2 y Alto > 0.2.

Figura 7

Comparación de Nitrógeno del suelo inicial y final, después de la aplicación del biochar de molle (*Schinus molle* L.)



Nota: En la figura se muestra la diferencia del Nitrógeno inicial y final en la que descriptivamente el suelo con biochar al 15% y 30% tiene mayor incremento de N, siendo éstos el medio para suelos agrícolas, favoreciendo a la materia orgánica, según Porta et al., (2014) en su libro “Edafología uso y protección de suelos”.

Tabla 23

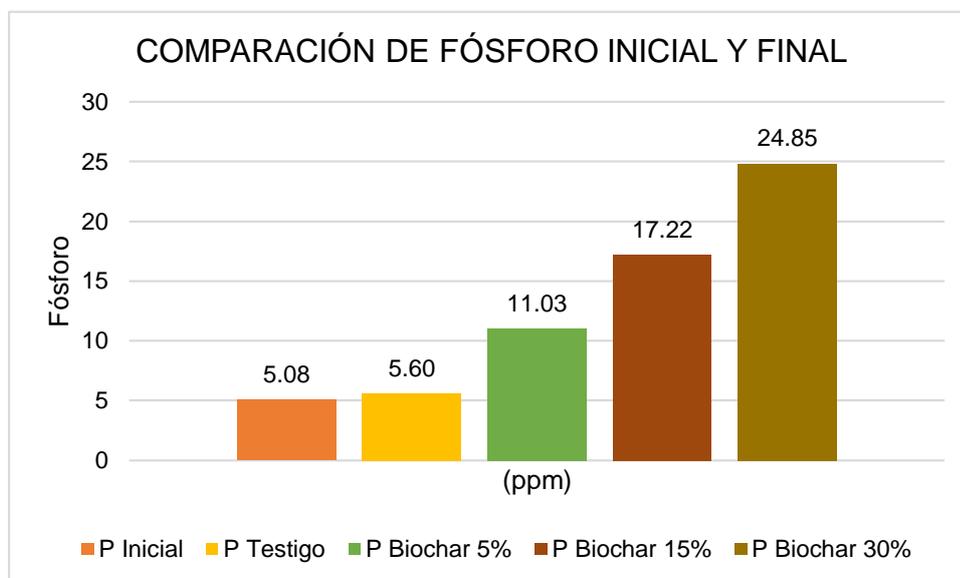
Interpretación del Fósforo disponible (P) del suelo antes y después de la aplicación del biochar de molle (*Schinus molle* L.)

P inicial	Interpretación	P final	Interpretación
5.08 ppm	Bajo para suelos agrícolas	Para biochar al 5% = 11.03 ppm	Valor medio para suelos agrícolas
		Para biochar al 15% = 17.22 ppm	Valores altos para suelos agrícolas
		Para biochar al 30% = 24.85 ppm	

Nota: Interpretación en base a lo establecido por el laboratorio de suelo UNAS donde el porcentaje de Fósforo Disponible (P) es Bajo < 7.0; Medio 7.0 – 14 y Alto > 14.

Figura 8

Comparación de Fósforo del suelo inicial y final, después de la aplicación del biochar de molle (Schinus molle L.)



Nota: En la figura se muestra la diferencia del Fósforo inicial y final en la que descriptivamente el suelo con biochar al 5% es el valor medio para suelos agrícolas y con el biochar al 15% y 30% son valores altos para suelos agrícolas, según Porta et al., (2014) en su libro “Edafología uso y protección de suelos”.

Tabla 24

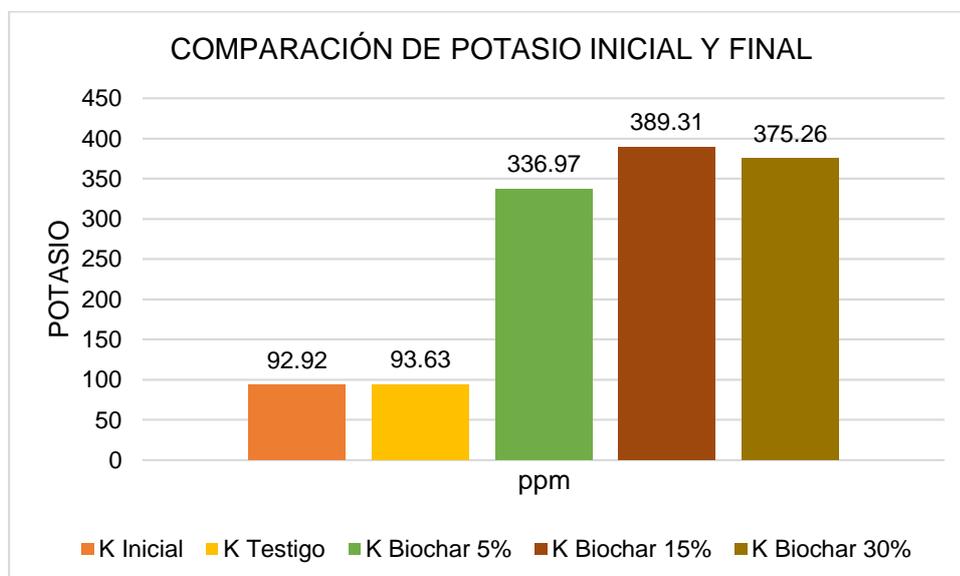
Interpretación del Potasio disponible (K) del suelo antes y después de la aplicación del biochar de molle (Schinus molle L.)

K inicial	Interpretación	K final	Interpretación
92.92 ppm	Bajo para suelos agrícolas	Para biochar al 5%	Valores altos para suelos agrícolas
		= 336.97 ppm	
		Para biochar al 15% = 389.31 ppm	
		Para biochar al 30% = 375.26 ppm	

Nota: Interpretación en base a lo establecido por el laboratorio de suelo UNAS donde el porcentaje de Potasio Disponible (K) es Bajo < 100; Medio 100-240 y Alto > 240.

Figura 9

Comparación de Potasio del suelo inicial y final, después de la aplicación del biochar de molle (Schinus molle L.)



Nota: En la figura se muestra la diferencia del Fósforo inicial y final en la que descriptivamente el suelo con biochar al 5%, 15% y 30% son valores altos para suelos agrícolas según Porta et al., (2014) en su libro "Edafología uso y protección de suelos".

Tabla 25

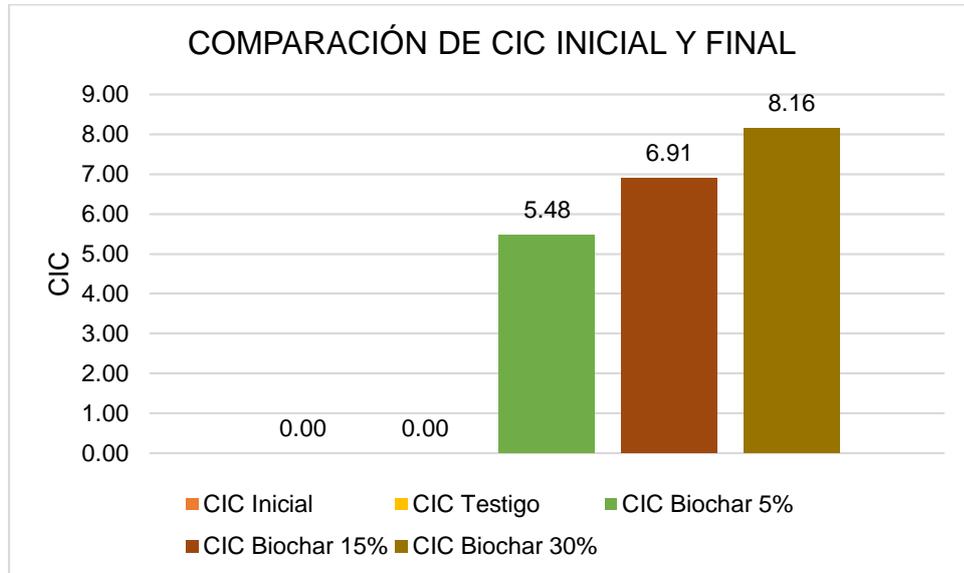
Interpretación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo antes y después de la aplicación del biochar de molle (Schinus molle L.)

CIC inicial	Interpretación	CIC final	Interpretación
0.00 meq/100g	Muy bajo /Suelo pobre – limita el desarrollo de las plantas.	Para biochar al 5% = 5.48 meq/100g	Muy bajo/ suelo pobre
		Para biochar al 15% = 6.91 meq/100g	Bajo/ suelo pobre, tolerado solo por algunas plantas
		Para biochar al 30% = 8.16 meq/100g	

Nota: La capacidad de intercambio catiónico ideal oscila entre 20-35 meq/100g – interpretación basada en Edafología uso y protección de suelos (Porta et al., 2014).

Figura 10

Comparación de Potasio del suelo inicial y final, después de la aplicación del biochar de molle (Schinus molle L.)



Nota: En la figura se muestra la diferencia del Fósforo inicial y final en la que descriptivamente el suelo con biochar al 5%, 15% y 30% son valores bajos/suelo pobre según Porta et al., (2014) en su libro “Edafología uso y protección de suelos”.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Concerniente al objetivo general: Evaluar el efecto de biochar de molle (*Schinus molle L.*) en la recuperación de suelos degradados, usando como indicador el maíz (*Zea mays L.*). Los datos analizados antes y después de la intervención con el biochar de molle demuestran de manera muy significativa la recuperación de los suelos degradados desde el cambio textural, equilibrio de la materia orgánica, el pH y el desarrollo del indicador usado.

Los cambios texturales del suelo incrementan a mayor aplicación de porcentaje del biochar de molle, manteniéndose en arcilloso con biochar al 5% y pasando a franco arcillo con biochar al 15% y franco arcilloso arenoso con biochar al 30% esto se explica por el tamaño de las partículas del biochar aplicado que fueron de 2 mm, lo cual también lo explican Flórez & García (2020) en su investigación: "Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de un suelo enmendado con biochar proveniente de residuos de floricultura, en la Finca El Escondite, vereda San Benito, Sibaté" en la que con la aplicación del biochar en el suelo los parámetros físicos no presentan variaciones por el tamaño de la partículas del carbón fueron mayores a 2 mm lo que provoca que se presente una adhesión más lenta en la estructura del suelo.

En todos los tratamientos el pH tuvo un incremento en los 45 días de tratamiento y observación, siendo muy favorable en los tratamientos sometidos a biochar de molle al 5 % esta variación del pH sucede también en los resultados obtenidos por Cuenca (2019) en su investigación: "Evaluación de la mineralización de biochar sobre parámetros químicos del suelo en dos tiempos de incubación" mencionando que el pH tuvo un aumento mayor a los treinta días en comparación con los tratamientos sometidos a sesenta días, en donde éste se redujo levemente. Además de lo que sostiene Olmo (2016) En su Tesis doctoral titulada: "Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal" cuyos resultados mostraron que las características de los biochars variaron en función del material de partida, pero en su mayoría presentaron un pH alcalino, alto contenido de C y bajo contenido de nutrientes.

El incremento de la MO en el suelo luego de la aplicación del biochar se ve totalmente favorecidos, pasando del nivel bajo a medio lo cual indica que es favorable para la mayoría de plantas, esto resultados coinciden con lo que sostiene Arévalo (2020) “Valoración de la calidad del suelo mediante la aplicación de biochar de acícula de pino (*Pinus patula*) en la cuenca del Machángara” la que obtuvo un incrementando la materia orgánica de un 26.90% a un 58.7%, con lo que el biochar de pino fue el mejor tratamiento en parcelas de pasto.

El desarrollo del indicador se limita por la acidez del suelo y en el caso de la aplicación del biochar al 30% por la alcalinidad alta, con respecto a a la aplicación del biochar al 5 y 15 hubo mejor desempeño tanto en la raíz y numero de hojas, coincidiendo con lo que expone Aróstegui (2019) en su Tesis titulada: “Evaluación del efecto de biochar de residuos de sachá inchi y cacao sobre suelos degradados de Campoverde, Ucayali, usando *Zea mays* con indicador” ya que según sus resultados indica que las más altas dosis de biochar no permitieron el mayor crecimiento del maíz. Se determinó que la dosis más pequeña del 5%) fue la que mejores resultados arrojó, con pH neutro y mayor desarrollo de la planta.

Concerniente al objetivo específico 1; Determinar el efecto del biochar de molle al 5%, 15% y 30% sobre las características del maíz como indicador. En cada grupo operacional hubo un desarrollo similar de crecimiento del maíz, con una leve diferencia en tamaño de la planta, raíz y hojas, para el grupo con biochar al 5% el tamaño de la planta fue 27.48 cm de altura, presentó en promedio 38.38 cm de tamaño de raíz con 7 hojas muy similar al grupo con biochar al 15% el tamaño de la planta fue 36.54 cm de altura, obtuvo en promedio 38.36 cm de raíz y 8 hojas y el grupo con biochar al 30 % el tamaño de la planta fue 31.68 cm, obtuvo en promedio 30.72 cm de raíz y 8 hojas con aspectos amarillentos esto debido a la alcalinidad del suelo, siendo este último el que menos favorece al suelo y al indicador.

Concerniente al objetivo específico 2; Determinar la concentración de biochar de molle que muestra una mayor mejora de las características del maíz como indicador y del suelo degradado. el biochar de molle al 15% muestra una mayor mejora para el indicador, tanto en tamaño de la planta,

raíz y número de hojas, con un pH del suelo dentro del rango ligeramente alcalino con un 8.58 y la textura pasó de arcilloso a franco arcilloso.

Concerniente al objetivo específico 3; Describir las características fisicoquímicas del suelo degradado antes y después de la aplicación del biochar de molle (*Schinus molle L.*). Respecto a la textura del suelo, el suelo inicial tuvo una textura arcillosa, el grupo con el biochar al 5% se mantuvo en la textura arcilloso, el grupo con el biochar al 15% pasó de arcilloso a franco arcilloso y el grupo con el biochar al 30% pasó de arcilloso a franco arcilloso arenoso. Respecto al pH, el suelo inicial tuvo un pH de 4.28, el grupo con biochar al 5% obtuvo un pH de 6.31, el grupo con biochar al 15% obtuvo un pH de 8.58 y el grupo con biochar al 30% obtuvo un pH de 9.32. Respecto a la MO, el suelo inicial tenía 0.35% de MO, el grupo con biochar al 5% tuvo 1.22% de MO, el grupo con biochar al 15% tuvo 2.49% de MO y el grupo con biochar al 30% tuvo 2.39% de MO. Respecto al N, el suelo inicial tenía 0.02% de N, el grupo con biochar al 5% tuvo 0.06 de N y los grupos con biochar al 15% y 30% tuvieron 0.12 de N. Respecto al P, el suelo inicial tenía 5.08 ppm de P, el grupo con biochar al 5% tuvo 11.03 ppm de P, el grupo con biochar al 15% tuvo 17.22 ppm de P y el grupo con biochar al 30% tuvo 24.85 ppm. Respecto al K, el suelo inicial tenía 92.92 ppm de K, el grupo con biochar al 5% tuvo 336.97 ppm de K, el grupo con biochar al 15% tuvo 389.31 ppm de K y el grupo con biochar al 30% tuvo 375.26 de K. Respecto al CIC, el suelo inicial tenía 0.00 meq/100g, el grupo con biochar al 5% tuvo 5.48 meq/100g de CIC, el grupo con biochar al 15% tuvo 6.91 meq/100g de CIC y el grupo con biochar al 30% tuvo 8.16 meq/100g de CIC.

Concerniente al objetivo específico 4; Cuantificar las características físicas y químicas del biochar de molle. Los resultados después de haber trabajado en un horno pirolítico con el Molle fue la obtención de un biochar alcalino con un pH 8.74, lo cual equilibra o compensa a la acidez del suelo analizado, con una humedad de 1.51%, además con un porcentaje alto de materia orgánica en un 85.7 %, lo cual aportó este componente al suelo para su recuperación

CONCLUSIONES

Concerniente al objetivo general; el biochar de molle tiene efectos positivos en los suelos degradados, aportándoles materia orgánica, estabilizando el pH y favoreciendo el desarrollo de las plantas.

Concerniente al objetivo específico 1; los grupos operacionales evaluados con biochar de molle al 5%; 15; y 30% tienen efecto sobre el indicador *Zea mays L.*, donde el grupo con el 5% y 15% mostraron mejores resultados en el tamaño de la raíz y el grupo del 15% presentó un mejor resultado respecto al tamaño del indicador.

Concerniente al objetivo específico 2; el biochar al 5% y al 15 % favorecen de mejor manera al desarrollo del indicador usado (*Zea mays L.*) siendo estos dos grupos también que favorecen la recuperación del suelo en el pH y la materia orgánica. El biochar al 30 % tiende a incrementar la alcalinidad del suelo y limitar al desarrollo de la planta.

Concerniente al objetivo específico 3; el biochar de molle al 5% no mostró cambios favorables en la textura del suelo, la MO fue bajo, favoreció al pH y al P, el N fue demasiado bajo, el K fue alto y la CIC fue bajo, el biochar de molle al 15% mostró cambios desfavorables en la textura del suelo, la MO mejoró, no favoreció al pH, el N fue favorable, el P y K fue alto y la CIC fue bajo; y el biochar al 30% mostró cambios favorables en la textura del suelo, la MO mejoró, no favoreció al pH, el N fue favorable, el P y K fue alto y la CIC fue bajo.

Concerniente al objetivo específico 4; se obtuvo un biochar de molle (*Schinus molle L.*) con características fisicoquímicos en condiciones óptimas para recuperar suelos degradados.

RECOMENDACIONES

Se recomienda:

Realizar una investigación con porcentajes diferentes de biochar de molle.

Evaluar al indicador maíz (*Zea mays L.*) en su periodo de crecimiento completo, para analizar el fruto, tallo, hojas y raíz después de su crecimiento con estimulación del biochar.

Evaluar al suelo degradado en periodos más prolongado con la aplicación del biochar.

Analizar el comportamiento microbiano del suelo degradado al añadir el biochar de molle (*Schinus Molle L.*).

La aplicación del biochar de molle (*Schinus molle L.*) para suelos alcalinos en porcentajes menores al 5%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo Maldonado, E. N. (2020). Valoración de la calidad del suelo mediante la aplicación de biochar de acícula de pino (*Pinus patula*) en la cuenca del Machángara—Saucay [Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19180>
- Aróstegui Cornelio, K. (2019). Evaluación del efecto de biochar de residuos de sachá inchi y cacao sobre suelos degradados de Campoverde, Ucayali, usando *Zea mays* con indicador [Universidad Científica del Sur]. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/762>
- Ayala Santisteban, A., & Peña Huamán, H. A. (2020). Uso del biochar como alternativa de mejoramiento de la calidad de los suelos mediante una revisión sistemática [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60813>
- Cuenca Rivera, J. A. (2019). Evaluación de la mineralización de biochar sobre parámetros químicos del suelo en dos tiempos de incubación [Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15160>
- Da Silva, A. M. (2014). Dinámica del carbono y del nitrógeno en los suelos (1a ed.). Editora Baraúna.
- Flórez Barrantes, M., & García Ruiz, C. D. (2020). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de un suelo enmendado con biochar proveniente de residuos de floricultura, en la Finca El Escondite, vereda San Benito, Sibaté [Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1880

- García Izquierdo, C., Rosas Mayoral, J. G., Sánchez Morán, M. E., Pacual Valero, J., & Hernández Fernández, T. (2014). Enmiendas orgánicas de nueva generación: Biochar y otras biomoléculas III.8. Ediciones Paraninfo, S.A.
- International Biochar Initiative. (2018). Soil Health. biochar-international. <https://biochar-international.org/soil-health/>
- Jiménez Ballesta, R. (2017). Introducción a la contaminación de suelos. Mundi-Prensa Libros.
- Méndez Barceló, A. (2020). Percepción de los productores de maíz (*Zea mays*, Lin.) sobre sus plagas claves: Principales aspectos agroecológicos en área agrícolas de Venezuela. Editorial Universitaria (Cuba).
- MINAM. (2013). Aprueban Guía para el Muestreo de Suelos y Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos [Text]. SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-guia-muestreo-suelos-guia-elaboracion-planes-descontaminacion>
- Guía para el Muestreo de Suelos / Ministerio del Ambiente. Dirección General de Calidad Ambiental., D.S.N°002-2013-MINAM, P45 624.1517 64 (2014). <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>
- Navarro, G., & Navarro, S. (2013). Química agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas (Tercera Edición). Mundi-Prensa Libros.

- Navarro García, G., & Navarro, S. (2014). Fertilizantes: Química y acción. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Porta, J., López, M., & Poch, R. (2014). Edafología: Uso y protección de suelos (Tercera Edición). Mundi-Prensa Libros.
- Ralebitso-Senior, T. K., & Orr, C. H. (2016). Biochar Application: Essential Soil Microbial Ecology. Elsevier.
- Reynel, C., & Marcelo, J. (2009). Árboles de los Ecosistemas Forestales Andinos: Manual de identificación de especies. Programa Regional ECOBONA-INTERCOOPERATION.
http://www.aprodes.org/pdf/arboles_ecosistemas.pdf
- Solisor Atavillos, L. T. (2021). Efecto del biochar del eucalipto (*eucalyptus globulus*) en la mejora de la calidad de suelo y las características morfológicas del rabanito (*raphanus sativus*)—Huánuco 2020 [Universidad de Huánuco].
<http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/2870>
- Supo, J. (2014) Seminarios de Investigación Científica, 2da edición. Editorial Bioestadístico, Arequipa, Perú
- Supo, J. (2014). Como empezar una tesis: Tu proyecto de investigación en un solo día. (1° Ed.). Arequipa, Perú: Bioestadístico EIRL.

ANEXOS

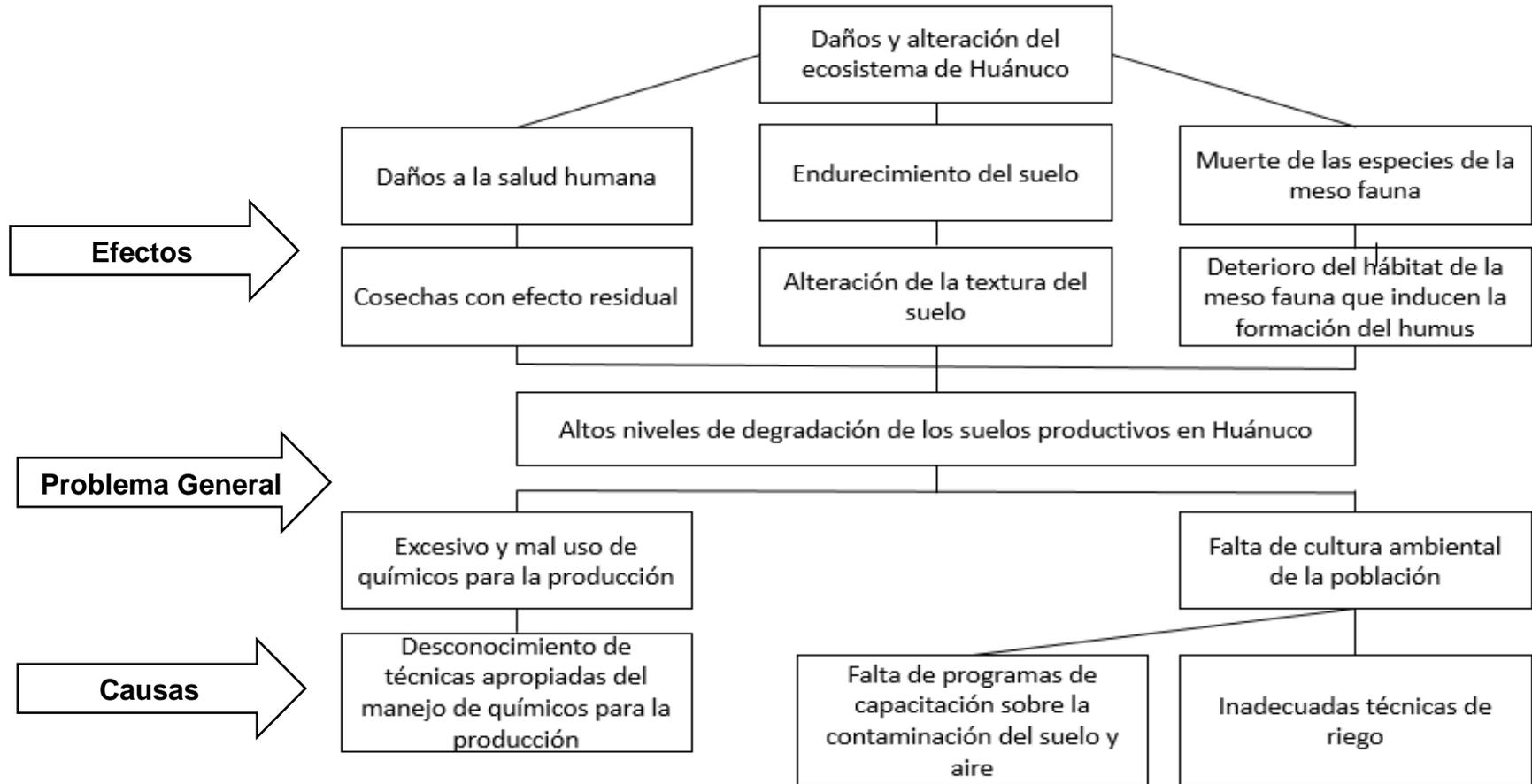
ANEXO 01 Matriz de consistencia

Título: “EFECTO DE BIOCHAR DE MOLLE (*Schinus molle* L.) EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS, USANDO COMO INDICADOR EL MAÍZ (*Zea mays* L.) HUÁNUCO 2021”

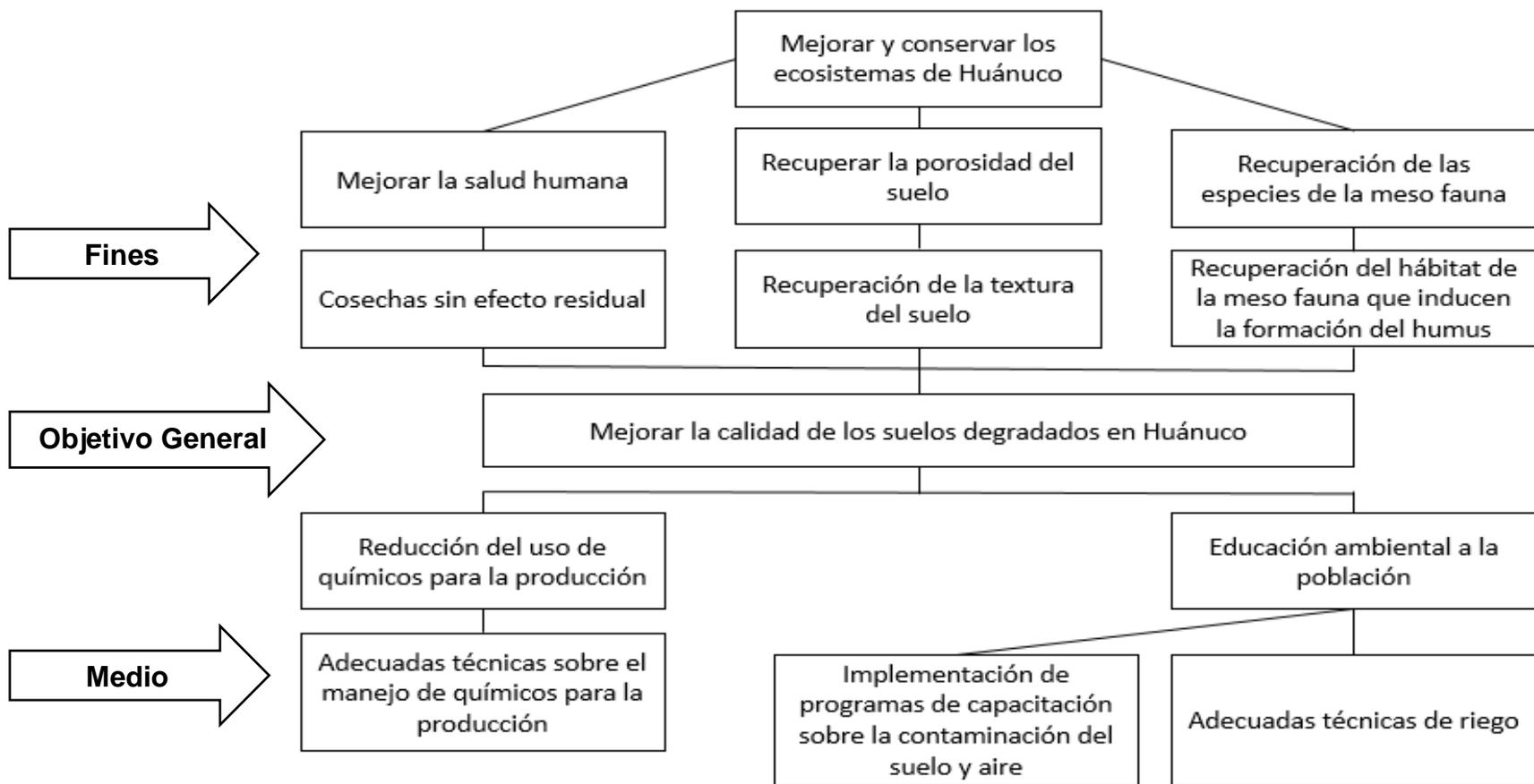
Tesista: Bach. CERVANTES RAMOS, JHADYRA GUADALUPE

PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cuál es el efecto del biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.) en la recuperación de suelos degradados, usando como indicador el maíz (<i>Zea mays</i> L.), Huánuco 2021?	Evaluar el efecto de biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.) en la recuperación de suelos degradados, usando como indicador el maíz (<i>Zea mays</i> L.), Huánuco 2021.	El biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.) tiene efecto en la recuperación de suelos degradados, usando como indicador el maíz (<i>Zea mays</i> L.), Huánuco 2021.	VARIABLE INDEPENDIENTE Biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.) <ul style="list-style-type: none"> • Biochar 5% • Biochar 15% • Biochar 30% 	Tipo: Experimental, por la manipulación de las variables Enfoque: cuantitativo, debido al uso de la estadística, el análisis, y la medición de los fenómenos.
PROBLEMAS SECUNDARIAS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS SECUNDARIAS	VARIABLE DEPENDIENTE	
¿Cuáles son las características fisicoquímicas del suelo degradado antes y después de la aplicación del biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.)?	Describir las características fisicoquímicas del suelo degradado antes y después de la aplicación del biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.)	H1: El biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.) al 5%, 15% y 30% tiene efecto sobre las características del maíz (<i>Zea mays</i> L.) como indicador.	VARIABLE DEPENDIENTE Suelos degradados Características físicas <ul style="list-style-type: none"> • Textura Características químicas <ul style="list-style-type: none"> • pH • Conductividad eléctrica • Materia orgánica total • Nitrógeno total • Fósforo total • Potasio total • CIC 	Nivel: explicativo, porque se trata de explicar la relación de las variables Diseño: T0 ----- O1 G1 ---- X1 ---- O2 G2 ---- X2 ---- O3 G3 ---- X3 ---- O4
¿Cuál es el efecto del biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.) al 5%, 15% y 30% las características del maíz (<i>Zea mays</i> L.) como indicador?	Determinar el efecto del biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.) al 5%, 15% y 30% sobre las características del maíz (<i>Zea mays</i> L.) como indicador.	H0: El biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.) al 5%, 15% y 30% no tiene efecto sobre las características del maíz (<i>Zea mays</i> L.) como indicador.	Indicador: Maíz (<i>Zea mays</i> L.) <ul style="list-style-type: none"> • Altura de planta • Longitud de la raíz • Número de hojas 	Población: 100 m ² de área de suelo Muestra: 50 kg de suelo degradado
¿Cuál es la concentración de biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.) que muestra una mayor mejora en las características del maíz (<i>Zea mays</i> L.) como indicador y del suelo degradado?	Determinar la concentración de biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.) que muestra una mayor mejora de las características del maíz (<i>Zea mays</i> L.) como indicador y del suelo degradado.			
¿Cuáles son las características físicas y químicas del biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.)?	Cuantificar las características físicas y químicas del biochar de molle (<i>Schinus molle</i> L.).			

ANEXO 02 Árbol de causa y efecto



ANEXO 03 Árbol de fines y medios



ANEXO 04 Panel fotográfico

Fotografía 1 Excavación y medición de la calicata para la toma de muestra de suelo



Fotografía 2 Separación y homogenización de muestras mediante el método del cuarteo



Fotografía 3 Llenado de cilindro interior del horno pirolítico con ramas de molle para elaboración del biochar.



Fotografía 4 Llenado de cilindro exterior del horno pirolítico con leñas para fuente de calor en la elaboración del biochar.



Fotografía 5 Horno pirolítico en funcionamiento inicial



Fotografía 6 Monitoreo de la temperatura del horno para las condiciones de pirolisis.



Fotografía 7 Resultado final de biochar de molle en un horno pirolítico.



Fotografía 8 Muestra de biochar de *Schinus molle* enviado al Laboratorio de Suelos de la Unas



Fotografía 9 Maceteros homogenizados con suelo degradado y biochar de molle según el porcentaje indicado para el tratamiento



Fotografía 10 Plantación de maíz pre germinado en el suelo 15 días después del reposo con biochar de molle



Fotografía 11 Inspección del proyecto de investigación por el jurado revisor.



Fotografía 12 Monitoreo y medición del tamaño de la planta.



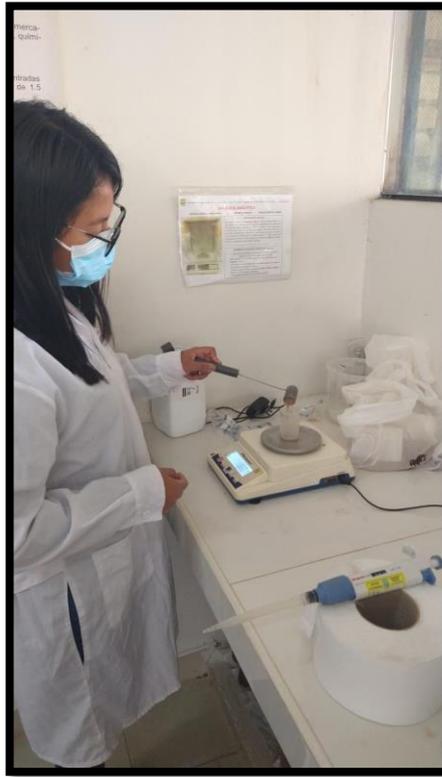
Fotografía 13 Medición del tamaño de raíz de la planta posterior a su crecimiento en un suelo tratado con biochar de molle



Fotografía 14 Secado de las muestras en el laboratorio para análisis después del tratamiento con biochar de molle.



Fotografía 15 peso de submuestras para análisis de textura del suelo.

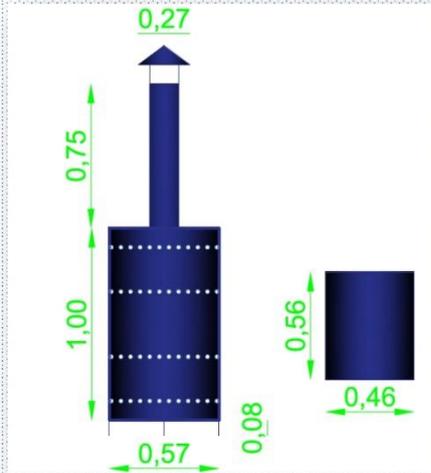


Fotografía 16 Método de la probeta para determinación de densidad aparente, porcentaje de porosidad.



ANEXO 05 Diseño del horno pirolítico para la elaboración del biochar

HORNO TIPO DOBLE CILINDRO



CILINDRO 1	CHIMENEA	CILINDRO 2
<p>CAPACIDAD = 56 GALONES</p>		<p>CAPACIDAD = 20 GALONES</p>

	UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA P.A.P DE INGENIERÍA AMBIENTAL	
PROYECTO DE TESIS "EFECTO DE BIOCHAR DE Schinus molle EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS, USANDO COMO INDICADOR EL Zea mays, HUÁNUCO 2021"		
HORNO PIROLÍTICO TIPO DOBLE CILINDRO		
TESISISTA:	Bach. CERVANTES RAMOS, JHADYRA GUADALUPE	LÁMINA HP-01
ASESOR:	SALAS VIZCARRA CRISTIAN JOEL	
ESCALA:	1:10	

Anexo 06 Resultados iniciales de muestras de suelo degradado



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología
analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: JHADYRA GUADALUPE CERVANTES RAMOS PROCEDENCIA: SECTOR CIRO MARTINEZ - NARANJILLO

N°	DATOS		ANALISIS MECANICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%								
	CODIGO DEL LAB.	CULTIVO	Arena	Arcilla	Limo							Textura	1:1	%	disponible		Ca					Mg	K	Na	Al	H	Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al
			%	%	%										ppm	ppm													
1	S0801	M1	27	42	31	Arcilloso	4.23	0.39	0.02	5.03	92.57	—	2.75	0.30	—	—	8.28	6.32	17.65	17.27	82.73	46.92							
2	S0802	M2	25	44	31	Arcilloso	4.33	0.31	0.02	5.07	93.26	—	2.90	0.37	—	—	8.76	1.74	13.77	23.73	76.27	63.63							
3	S0803	M3	25	46	29	Arcilloso	4.34	0.45	0.02	5.15	95.51	—	2.85	0.33	—	—	8.01	0.99	12.18	26.10	73.90	65.77							

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
 RECIBO 001 N° 0634056
 TINGO MARIA, 19 DE AGOSTO 2021

[Handwritten signature]
 JEFE



ANEXO 07 Resultados de características físicas y químicas del biochar de molle



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Ecotoxicología
 Carretera Central Km 1.21 - Tingo Maria - Celular 944407531
analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE:		JHADYRA GUADALUPE CERVANTES RAMOS					PROCEDENCIA:			HUANUCO								
DATOS DE LA MUESTRA		PH 1:1	RESULTADOS EN BASE HUMEDA					RESULTADOS EN BASE SECA										
Código	Referencia		Humedad Hd (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	C (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm
M 693	BIOCHAR	8.74	1.51	85.70	12.79	87.02	12.98	43.51	0.72	0.66	0.143	0.108	0.031	3.300	0.96	1.45	197.33	10.13

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE VND. VALOR NO DETECTABLE

RECIBO N° 001-627067

Tingo Maria 19 de agosto 2021




ANEXO 08 Resultados finales de muestras de suelo degradado post intervención con biochar de molle.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: JHADYRA GUADALUPE CERVANTES RAMOS										PROCEDENCIA: HUANUCO																	
N°	DATOS		ANALISIS MECANICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	% Bas. Camb.	% Ac. Camb.	% Sat. Al						
	CODIGO DEL LAB.	TRAT	Arena	Arcilla	Limo							Textura	1:1	%	%	ppm	ppm					Ca	Mg	K	Na	Al	H
			%	%	%																						
1	S1012-1	To	13	54	33	Arcilloso	5.10	0.95	0.05	5.60	93.63	—	2.78	0.39	—	—	8.02	1.29	12.48	25	75	64					
2	S1012-2	T1R1	21	46	33	Arcilloso	5.70	1.07	0.05	12.17	344.57	5.35	3.32	0.55	0.97	0.51	—	—	—	100	0	0					
3	S1012-3	T1R2	21	48	31	Arcilloso	6.50	1.39	0.07	10.04	342.51	5.25	3.35	0.48	0.93	0.49	—	—	—	100	0	0					
4	S1012-4	T1R3	19	48	33	Arcilloso	6.60	1.14	0.06	11.17	330.05	5.66	3.47	0.48	1.21	0.50	—	—	—	100	0	0					
5	S1012-5	T1R4	23	46	31	Arcilloso	6.44	1.20	0.06	11.51	331.88	5.74	3.69	0.45	1.03	0.57	—	—	—	100	0	0					
6	S1012-6	T1R5	25	46	29	Arcilloso	6.33	1.32	0.07	10.27	335.83	5.38	3.54	0.48	0.90	0.47	—	—	—	100	0	0					
7	S1012-7	T2R1	37	38	25	Franco Arcilloso	8.49	2.87	0.14	15.51	374.40	6.77	4.15	0.61	1.53	0.48	—	—	—	100	0	0					
8	S1012-8	T2R2	37	36	27	Franco Arcilloso	8.61	2.11	0.11	18.13	406.41	7.36	4.29	0.66	1.89	0.52	—	—	—	100	0	0					
9	S1012-9	T2R3	35	38	27	Franco Arcilloso	8.52	2.49	0.12	17.67	380.60	6.65	4.12	0.54	1.47	0.52	—	—	—	100	0	0					
10	S1012-10	T2R4	39	34	27	Franco Arcilloso	8.68	2.46	0.12	17.42	390.77	7.02	4.24	0.57	1.70	0.51	—	—	—	100	0	0					
11	S1012-11	T2R5	37	36	27	Franco Arcilloso	8.60	2.52	0.13	17.36	394.35	6.76	4.01	0.55	1.67	0.53	—	—	—	100	0	0					
12	S1012-12	T3R1	55	26	19	Franco Arcillo Arenoso	9.12	2.14	0.11	26.38	385.00	8.01	5.15	0.76	1.61	0.49	—	—	—	100	0	0					
13	S1012-13	T3R2	57	24	19	Franco Arcillo Arenoso	9.34	2.37	0.12	26.15	380.20	7.92	5.24	0.74	1.47	0.48	—	—	—	100	0	0					
14	S1012-14	T3R3	65	22	13	Franco Arcillo Arenoso	9.41	2.65	0.13	25.71	349.23	8.21	5.38	0.86	1.46	0.51	—	—	—	100	0	0					
15	S1012-15	T3R4	69	22	9	Franco Arcillo Arenoso	9.25	2.46	0.12	23.32	371.32	8.00	5.23	0.81	1.46	0.50	—	—	—	100	0	0					
16	S1012-16	T3R5	59	24	17	Franco Arcillo Arenoso	9.49	2.33	0.12	22.68	390.55	8.66	5.69	0.76	1.72	0.50	—	—	—	100	0	0					

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
RECIBO No. 0637361
TINGO MARIA, 30 DE OCTUBRE 2021

[Firma]
Ing. Jhadyra G. Cervantes Ramos
IEFE



ANEXO 09 Mapa de ubicación

