

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**EFEECTO DEL BIOCHAR SOBRE EL SUELO Y RENDIMIENTO DEL MAÍZ
CHALA, EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE CANCHÁN,
2022.**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
AGRICULTURA, BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

**TESISTA:
SORIA DURAND, LUIS ANGEL**

**ASESOR:
M. Sc. MÁRQUEZ DÁVILA, KADIR JOHN**

**HUÁNUCO – PERÚ
2023**

DEDICATORIA

Tengo una profunda deuda de gratitud con mis padres, Rolin y Elizabeth, por su constante amor y apoyo a lo largo de mi vida y por enseñarme a enfrentar los obstáculos con optimismo porque sé que Dios siempre está conmigo.

Gracias a mi hermana, Dayra, por tu amor y apoyo inquebrantables durante este viaje, y por estar siempre a mi lado.

A todos mis seres queridos que me ayudaron a ser una mejor persona y me impulsaron a cumplir mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

A la UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN; por brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente y al Centro de Producción, Investigación y Experimentación Canchan – UNHEVAL, por el apoyo brindado durante el transcurso del desarrollo de esta investigación.

Al Proyecto “Efecto del Biochar sobre el suelo y rendimiento del maíz chala y Distribución espacio-temporal de los parámetros de fertilidad de los suelos de Canchan” (Resolución N° 0212-2022-UNHEVAL-VRI), por el financiamiento.

A mi asesor M. Sc. Márquez Dávila, Kadir John por su invaluable cooperación y compromiso para realizar este trabajo de tesis.

A la Dr. Vega Jara, Liliana por la orientación que me brindó a lo largo de las fases de evaluación en el campo y en el laboratorio.

A mi familia, amistades e ingenieros que de una forma u otra han contribuido en todos los aspectos de mi desarrollo profesional.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
SUMARY	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Fundamentación o situación del problema de investigación	1
1.2. Formulación del problema de investigación	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Formulación del objetivo general y específicos.....	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Justificación	3
1.5. Limitaciones	4
1.6. Formulación de hipótesis general y específica	4
1.6.1. Hipótesis general.....	4
1.6.2. Hipótesis específicas.....	4
1.7. Variables	4
1.8. Definición teórica y operacionalización de variables	5
1.8.1. Definición teórica.....	5
1.8.2. Operacionalización.....	6
II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes	7
2.1.1. Internacionales.....	7
2.1.2. Nacionales	7
2.2. Bases teóricas del biochar y el suelo	9
2.2.1. Biochar	9
2.2.2. El biochar como insumo para la mejora del suelo	10
2.2.3. Beneficios de aplicar biochar y fertilización juntos	11

2.2.4.	Caracterización del biochar	12
2.2.5.	Métodos de aplicación de biochar al suelo.....	12
2.2.6.	Suelo	12
2.2.7.	Importancia del suelo	13
2.2.8.	Parámetros o indicadores del suelo	13
2.2.7.	Importancia del suelo	14
2.2.8.	Parámetros o indicadores del suelo	14
2.3.	Fundamentación teórica de <i>Zea mays</i>	19
2.3.1.	Importancia	19
2.3.2.	El cultivo de maíz en el Perú	19
2.3.3.	Producción de maíz en Huánuco	20
2.3.4.	Clasificación taxonómica.....	20
2.3.5.	Morfología del maíz.....	21
2.3.6.	Aspectos fisiológicos.....	22
2.3.7.	Manejo agronómico.....	23
2.3.8.	Indicadores de rendimiento	27
2.3.9.	Indicadores de calidad del suelo.	28
2.4.	Bases epistemológicas o bases filosóficas	29
III.	METODOLOGÍA	30
3.1.	Ámbito.....	30
3.2.	Población	32
3.3.	Muestra	32
3.4.	Nivel y tipo de estudio	33
3.4.1.	Nivel de investigación.....	33
3.4.2.	Tipo de investigación.....	33
3.5.	Diseño de investigación	33
3.6.	Métodos, Técnicas e instrumentos.....	37
3.6.1.	Métodos	37
3.6.2.	Técnicas.....	39
3.6.3.	Instrumentos.....	39
3.7.	Validación y confiabilidad del instrumento	40
3.8.	Procedimiento	40
3.8.1.	Reconocimiento del terreno y toma de muestras	40
3.8.2.	Preparación del terreno.....	40
3.8.3.	Trazado del campo experimental	41

3.8.4.	Incorporación de insumos	41
3.8.5.	Siembra.....	42
3.8.6.	Desahije	42
3.8.7.	Riego.....	42
3.8.8.	Control de maleza	42
3.8.9.	Aporque.....	42
3.8.10.	Control fitosanitario	43
3.8.11.	Cosecha	43
3.8.12.	Muestreo de suelo.....	43
3.8.13.	Índice de área foliar.....	44
3.8.14.	Medición de SPAD	44
3.8.15.	Análisis de pH	44
3.8.16.	Medición de materia orgánica	44
3.8.15.	Medición de fósforo extractable de un suelo	45
3.9.	Análisis de datos.....	45
3.10.	Consideraciones éticas	46
IV.	RESULTADOS	47
4.1.	Contenido de clorofila.....	47
4.2.	Indicadores de rendimiento.....	48
4.2.1.	Biomasa fresca.....	48
4.2.2.	Biomasa seca.....	49
4.2.3.	Biomasa radicular fresca.....	51
4.2.4.	Biomasa radicular seca	52
4.2.5.	Área foliar	53
4.2.6.	Altura de planta	55
4.2.7.	Diámetro de tallo	56
4.3.	Indicadores de calidad del suelo	58
4.3.1.	Medición de pH	58
4.3.2.	Contenido de materia orgánica	59
4.3.3.	Fósforo extractable en el suelo	60
V.	DISCUSIÓN.....	63
	CONCLUSIONES	69
	RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS	71
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
	ANEXO	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conjunto de indicadores físicos	27
Tabla 2. Conjunto de indicadores químicos	28
Tabla 3. Niveles de MO (%), según tipo de suelo	29
Tabla 4. Categoría de suelo y pH	29
Tabla 5. Clases de raíces en maíz	33
Tabla 6. Análisis de suelos del centro de investigación Canchan	41
Tabla 7. Análisis de materia inorgánica	42
Tabla 8. Análisis de varianza de altura de planta	54
Tabla 9. Análisis de varianza de diámetro de tallo	55
Tabla 10. Análisis de varianza del área foliar	56
Tabla 11. Análisis de varianza de biomasa fresca	57
Tabla 12. Análisis de varianza de biomasa seca	58
Tabla 13. Análisis de varianza de biomasa radicular fresca	59
Tabla 14. Análisis de varianza de biomasa radicular seca	60
Tabla 15. Análisis de varianza de SPAD	61
Tabla 16. Análisis de varianza de pH	62
Tabla 17. Análisis de varianza de %MO	63
Tabla 18. Análisis de varianza de P	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Operacionalización de variables.	19
Cuadro 2. Descripción de los tratamientos	43
Cuadro 3. Análisis de varianza para el DBCA	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Motivaciones para aplicar la tecnología de biochar.	10
Figura 2. Croquis de parcela experimental	36
Figura 3. Croquis del campo experimental.....	36
Figura 4. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre el contenido de clorofila en el cultivo de maíz chala. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	48
Figura 5. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre la biomasa fresca en el cultivo de maíz chala. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	49
Figura 6. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre la biomasa seca en el cultivo de maíz chala. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	51
Figura 7. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre la biomasa radicular fresca en el cultivo de maíz chala. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	52
Figura 8. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre la biomasa radicular seca en el cultivo de maíz chala. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	53
Figura 9. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre el índice de área foliar en el cultivo de maíz chala. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	55
Figura 10. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre la altura de la planta en el cultivo de maíz chala. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	56
Figura 11. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre el diámetro de tallo en el cultivo de maíz chala. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	57
Figura 12. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre el nivel de pH en el suelo. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). 59	
Figura 13. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre el nivel de materia orgánica en el suelo. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).	60
Figura 14. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre el nivel de fósforo extractable en el suelo. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).....	61

RESUMEN

El propósito de este estudio fue determinar los efectos del biochar (CA), sobre las propiedades físico químicas del suelo y sobre los rendimientos de maíz chala (*Zea mays* L.). Se evaluó biochar (T1), biochar + compost (T2), biochar + NPK (T3), solo NPK (T4) y un testigo (T5). Los efectos de cada tratamiento sobre la planta de maíz fueron determinados mediante: altura de planta, diámetro de tallo, índice de área foliar, contenido de materia seca y contenido de clorofila. También se evaluaron los efectos de cada tratamiento sobre las propiedades químicas del suelo (contenido de materia orgánica, fósforo disponible y pH). El biochar se incorporó a una dosis de 1% en relación al peso de suelo y NPK 230, 40 y 190, respectivamente. Los tratamientos fueron distribuidos bajo el diseño de bloques completos al azar con 5 repeticiones. Con los datos obtenidos de cada variable respuesta fueron realizados el ANOVA y las medias fueron comparadas utilizando la prueba de Tukey ($p=0.05$). Los resultados obtenidos muestran un incremento superior en la altura, diámetro y IAF del tratamiento biochar 1% + NPK (T3), con respecto al T4 (NPK) y T1(biochar 1%). En la biomasa aérea fresca y seca de la planta, presentaron la siguiente secuencia $T3>T4>T2>T1>T5$. La biomasa radicular presentó diferencias significativas, siendo los mejores T3 y T2, que indica que la aplicación de biochar mejora el desarrollo radicular, estando relacionado con la biomasa fresca obtenida. En los indicadores de suelo el rango de pH aumentó en el tratamiento T3 en contraste con T4. El biochar tiene un pH básico o alcalino, lo que significa que puede neutralizar la acidez del suelo al aumentar el pH. El tratamiento T2 presentó el mayor porcentaje de materia orgánica, la adición de compost al suelo influyó en el aumento de % MO, los tratamientos T1 y T3 presentan el mismo porcentaje, siendo posible que el biochar intervenga en el aumento MO. En el caso de fósforo no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Se concluye que el biochar por sí solo no es un fertilizante, sino es un acondicionador que aumenta la biodisponibilidad de nutrientes, y para obtener un incremento del rendimiento, se debe aplicar en combinación con fertilizantes tradicionales o abonos orgánicos.

Palabras claves: Carbón vegetal, Materia seca, Enmiendas orgánicas.

SUMMARY

The purpose of this study was to determine the effects of biochar (CA) on the physical and chemical properties of the soil and on the yields of chala maize (*Zea mays* L.). Biochar (T1), biochar + compost (T2), biochar + NPK (T3), NPK only (T4), and a control group (T5) were evaluated. The effects of each treatment on the maize plants were determined through plant height, stem diameter, leaf area index, dry matter content, and chlorophyll content. The effects of each treatment on soil chemical properties (organic matter content, available phosphorus, and pH) were also evaluated. Biochar was incorporated at a rate of 1% relative to the soil weight, and NPK 230, 40, and 190, respectively. The treatments were distributed under a completely randomized block design with 5 replications. ANOVA was performed with the data obtained from each response variable, and means were compared using the Tukey test ($p=0.05$). The results show a superior increase in the height, diameter, and leaf area index of the biochar 1% + NPK treatment (T3) compared to T4 (NPK) and T1 (biochar 1%). In terms of plant aerial fresh and dry biomass, the sequence was $T3>T4>T2>T1>T5$. The root biomass presented significant differences, with T3 and T2 performing the best, indicating that the application of biochar improves root development, which is related to the fresh biomass obtained. In soil indicators, the pH range increased in the T3 treatment in contrast to T4. Biochar has a basic or alkaline pH, meaning it can neutralize soil acidity by increasing pH. The T2 treatment had the highest percentage of organic matter; adding compost to the soil influenced the increase in organic matter content. Treatments T1 and T3 had the same percentage, suggesting that biochar may contribute to the increase in organic matter. In the case of phosphorus, there were no significant differences between treatments. It is concluded that biochar alone is not a fertilizer; it is a conditioner that enhances nutrient bioavailability. To achieve increased yields, it should be applied in combination with traditional fertilizers or organic amendments.

Keywords: Biochar, Dry Matter, Organic Amendments.

INTRODUCCIÓN

Tres de los mayores desafíos del siglo XXI son la necesidad de duplicar la producción de alimentos para 2050, adaptarse y generar resiliencia a un entorno climático cada vez más desafiante y, al mismo tiempo, lograr una reducción sustancial de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera (Scholz et al., 2014).

En la actualidad la agricultura debe superar una serie de desafíos, incluidos el cambio climático, la degradación del suelo, la pérdida de fertilidad, y la alta demanda de alimentos (Sohi et al., 2009). Siendo responsable de hasta el 30% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI), que causan el cambio climático, estas estimaciones incluyen las emisiones relacionadas con la producción agrícola y ganadera, las actividades forestales y los cambios en el uso de la tierra, al mismo tiempo, el sector agrícola también puede contribuir a la absorción de carbono, evitando que se libere a la atmósfera (De Salvo, 2018). Es necesario brindar mejores alternativas para promover una agricultura sustentable a largo plazo.

El biochar es un producto abundante en carbono que se obtiene a partir de residuos de biomasa a través de un proceso de degradación térmica en ausencia de oxígeno denominado como pirólisis (Lehmann et al., 2011). En la agricultura ha mejorado la calidad de los suelos, incrementando el rendimiento de los cultivos, debido a la mejora de las propiedades fisicoquímicas del suelo, incluyendo la retención de nutrientes, aumento del contenido de agua, el pH y niveles de carbono del suelo (Agüero et al., 2020).

El biochar aplicado al suelo puede alterar sus propiedades físicas, tales como la estructura, la distribución del tamaño de poro, el área superficial total, y la densidad aparente, con repercusión en la aireación, capacidad de retención de humedad, crecimiento de las plantas, y facilidad de laboreo del suelo, en ocasiones las partículas de biochar que son muy pequeñas pueden bloquear parcial o totalmente la porosidad del suelo, con la consecuente alteración de su estructura, y la disminución de infiltración de agua (Chan et al., 2007).

Su uso como enmienda agrícola el Biochar parece alterar la actividad microbiana en el suelo, reduciendo la respiración del suelo (CO_2) y la conversión del fertilizante nitrogenado en óxido nitroso (NO_2) que de otro modo se eleva al aire. Los óxidos nitrosos tienen un efecto de gas de efecto invernadero más de 300 veces el CO_2 . Esto es en parte el poder y la capacidad de adsorción del Biochar, pero también la actividad microbiana para manejar el Ciclo de Nitrógeno y mantener estas moléculas volátiles en el suelo (Cayuela et al., 2013). Las emisiones de metano también se reducen. Al mismo tiempo, el biochar puede ayudar a mejorar la salud y la fertilidad del suelo, contribuyendo a mejorar la producción agrícola (Rebolledo et al., 2016).

El cultivo de maíz es de gran importancia debido a su alto valor nutritivo, es un grano con valiosa fuente de carotenos para el ganado vacuno, las aves y los cerdos, y se utiliza como insumo fundamental en la formulación de alimentos balanceados, esto produce la creciente demanda de maíz ha llevado a la búsqueda de estrategias que permitan aumentar la producción de manera sostenible, optimizando el uso de insumos amigables con el medio ambiente y de fácil implementación a nivel local (Hidalgo, 2013).

En este contexto se evaluó los efectos del biochar sobre los parámetros fisiológicos del maíz para chala (maíz para forraje) como contenido de materia seca y fotosíntesis, diámetro de tallo, altura de planta y área foliar. Además, se incluyen los impactos en los parámetros químicos del suelo, como la concentración de materia orgánica, el fósforo disponible y el pH.

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Fundamentación o situación del problema de investigación

El uso excesivo de fertilizantes, en especial aquellos con iones de amonio, y las prácticas inapropiadas en su manejo durante la incorporación en los cultivos, han demostrado efectos negativos en el ecosistema, y en Perú, el consumo de fertilizantes nitrogenados ha aumentado considerablemente (Andrades & Martínez, 2014). El 15% de los suelos del territorio peruano han sido degradados y sigue en aumento (INEI, 2013).

El cultivo de maíz es de gran importancia para la economía y la cadena de suministro agroalimentario del país, siendo el tercer cultivo más relevante. En particular, destaca la importancia del maíz amarillo duro, el cual es valorado por contener el ingrediente esencial para la producción de comidas balanceadas. Además, este tipo de maíz tiene un alto valor nutricional y contenido de carotenoides, lo que lo hace esencial para la producción de carne avícola y porcina. En la actualidad el sistema de producción pecuaria se sostiene en el uso de pasturas, se busca biomasa comestible de calidad y cantidad adecuada en todas las épocas de año con otras fuentes forrajeras como el maíz, exhibiendo características de sabor sobresaliente y, como resultado, un alto consumo por parte de animales del sector pecuario (Hidalgo, 2013).

El maíz es una importante fuente de energía en la alimentación de los animales de granja, siendo consumido por una amplia variedad de animales, incluyendo aves de corral, porcinos, ganado bovino, ovino, caprino, entre otros, debido a su alto rendimiento de materia seca. Sin embargo, aún existe información limitada sobre los efectos del uso del biochar sobre las características físico-químicas del suelo y los rendimientos del cultivo de maíz para chala. La demanda del maíz para alimentación animal aumentará de los 165 millones de toneladas actuales a casi 400 millones en 2030, es importante optar por productos orgánicos que regulen el pH del suelo y mejore sus propiedades físicas y químicas, para mitigar la degradación del medio ambiente y el suelo (Paliwal et al., 2001). El biochar se presenta como una

alternativa para mejorar la disponibilidad de nutrientes y la absorción de las plantas de maíz, convirtiéndose en un insumo valioso para este fin.

1.2. Formulación del problema de investigación

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto del biochar sobre el suelo y rendimiento del maíz chala en el Centro de Investigación de Canchán, 2022?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cómo influye el biochar en las características del suelo de Canchán?
- b. ¿De qué manera impacta el biochar en el rendimiento del cultivo de maíz chala?

1.3. Formulación del objetivo general y específicos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el efecto del biochar sobre el suelo y rendimiento del maíz chala en el Centro de Investigación de Canchán, 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Evaluar el impacto del biochar en el rendimiento del cultivo de maíz chala.
- b. Analizar la influencia del biochar en las características del suelo de Canchán.

1.4. Justificación

Este esfuerzo de investigación se justifica en la práctica porque contempla la resolución de problemas desde las siguientes perspectivas:

Socialmente, el maíz como forraje presenta una serie de bondades en la alimentación de los animales. Es factible obtener altos rendimientos de materia verde y realizar medidas de conservación que preserven o aumenten el contenido nutricional del cultivo; actualmente es un cultivo rentable debido a la demanda del mismo. Sin embargo, el precio de los insumos agrícolas ha aumentado recientemente, elevando los costos de producción, es fundamental proporcionar opciones ecológicas y económicas que permitan a las personas superar estas limitaciones y, por lo tanto, mejorar sus condiciones de vida.

Económicamente, los precios de los insumos agrícolas son cada vez más altos y vuelven menos rentable la producción de forraje, en esta situación es crucial optar por opciones ecológicas como las enmiendas orgánicas para garantizar el crecimiento adecuado del cultivo del maíz chala, también se mejora las propiedades físicas y químicas del suelo. De esta manera, los resultados beneficiosos de esta investigación se reflejarán en una mejor calidad de vida del agricultor.

El maíz es un insumo clave en la formulación de raciones alimenticias para la producción animal, participando en hasta 80% de composición de su dieta, su aporte energético es elevado, debido a su alto contenido de almidón y grasa, y su nivel bajo de fibra. Estas fibras ayudarán a reducir los niveles de colesterol y promoverán la salud digestiva de los animales.

Brecha tecnológica, la agricultura genera cada año una cantidad considerable de residuos, que no es tratada adecuadamente y supone un peligro para el medio ambiente y la salud (Díaz et al., 2022). La adición de biochar al suelo puede modificar sus propiedades químicas como los cambios de pH, la conductividad eléctrica (CE), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y niveles de nutrientes (Trakal et al., 2011).

En cuanto al impacto ambiental, el biochar es conocido como una de las tecnologías de emisiones negativas (NET) de bajo costo para el secuestro de CO₂. Además, se puede emplear como enmienda para la agricultura, lo

que contribuye a la mitigación del cambio climático (Fawzy et al., 2020; Smith, 2016). Gracias al poder recalcitrante (es decir, resistentes a la degradación química y biológica), se convierte en un sumidero potencial de carbono (Cheng et al., 2008). Y debido a que una parte significativa de este no se descompone, el biochar evita que el carbono de la biomasa retorne a la atmósfera como CO₂, y permanezca capturado en el suelo durante largos periodos (Mohan et al., 2018).

1.5. Limitaciones

No existieron limitaciones en el desarrollo de esta investigación ya que se cuenta con antecedentes investigativos previos que se relacionen con las variables de estudio, además se tiene acceso a los insumos, materiales, herramientas y fondos necesarios para culminar la investigación.

1.6. Formulación de hipótesis general y específica

1.6.1. Hipótesis general

Existe efecto del biochar sobre el suelo y rendimiento del maíz chala en el Centro de Investigación de Canchán, 2022.

1.6.2. Hipótesis específicas

- a. La aplicación de biochar tiene un efecto significativo en las características del suelo de Canchán.
- b. La incorporación de biochar tiene un impacto significativo en el rendimiento del cultivo de maíz chala.

1.7. Variables

- Variable independiente: T₁ (Biochar al 1%), T₂ (Biochar 1% + NPK), T₃ (Biochar 1% + compost), T₄ (NPK) y Testigo.
- Variable dependiente: Características fisiológicas del maíz y características químicas del suelo (pH, contenido de materia orgánica y fósforo disponible).
- Variables intervinientes: Condiciones edafoclimáticas

1.8. Definición teórica y operacionalización de variables

1.8.1. Definición teórica

Biochar

El biochar es el producto del calentamiento de la biomasa en ausencia o con aire limitado por encima de los 250 °C, un proceso denominado carbonización o pirólisis que también se utiliza para fabricar carbón vegetal. Es comúnmente materia orgánica carbonizada, producida con la intención de aplicarse deliberadamente a los suelos para que capture carbono de manera sostenible y mejorar las propiedades del suelo, al tiempo que se evitan los efectos perjudiciales a corto y largo plazo para el medio ambiente (Lehmann y Joseph, 2015).

Características del suelo

El suelo es un recurso natural no renovable compuesto por materia orgánica e inorgánica que tiene la capacidad de aportar a los cultivos la cantidad de nutrientes que necesitan de forma balanceada, estos componentes le confieren propiedades físicas, química y biológicas, la interacción de estos, determinan la fertilidad de un suelo (Álvarez, 2015).

Rendimiento

El rendimiento del cultivo es una medida estándar de la cantidad de productos agrícolas cosechados por unidad de superficie (rendimiento del cultivo). Para estimar el rendimiento, se suele contabilizar una cantidad de cultivo cosechado en un área determinada. Esta variable en el maíz chala nos referimos a la biomasa de la planta, que es el interés de este proyecto de investigación.

1.8.2. Operacionalización

Cuadro 1. Operacionalización de variables.

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADOR MEDIBLE
Variable Independiente:	a. Biochar al 1% b. Biochar 1% + NPK c. Biochar 1% + compost d. NPK (230-40-190) e. Testigo	<ul style="list-style-type: none"> ● Contenido de clorofila en las hojas (SAPD) ● Biomasa vegetal y radicular (kg/planta) ● pH en el suelo (pH). ● Materia orgánica, fósforo y el nivel de pH en el suelo.
Variable Dependiente:	<ul style="list-style-type: none"> ● Materia orgánica del suelo ● Fósforo extractable en el suelo ● pH del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> ● Cantidad de materia orgánica disponible en los tratamientos (%MO) ● Cantidad de fósforo presente en las muestras de suelo (ppm). ● Potencial de Hidrógeno (pH).
	<ul style="list-style-type: none"> ● Altura de planta ● Diámetro de tallo ● Índice de área foliar ● Biomasa aérea fresca ● Biomasa aérea seca ● Biomasa radicular fresca. ● Concentración de clorofila. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Altura (cm) ● Diámetro (mm) ● Unidad adimensional ● kg/planta ● Unidades SPAD (nanómetros)
Interviniente: Condiciones edafoclimáticas	Clima <ul style="list-style-type: none"> ● Precipitación pluvial. ● Humedad relativa ● Temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> ● Temperatura máxima, media y mínima ● Humedad relativa máxima, media y mínima.
	Suelo <ul style="list-style-type: none"> ● Características físicas. ● Características químicas 	<ul style="list-style-type: none"> ● Textura de suelo y densidad aparente. ● pH de suelo, concentración de iones de NPK

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Molina (2013), en la investigación denominada “Evaluación de la aplicación de biochar en un cultivo de *Physalis peruviana* L. (uchuva)”, buscó determinar la influencia del biochar introducido en el suelo durante las primeras etapas del cultivo de aguaymanto. Se aplicó en concentración de 3.5 y 8 t/ha⁻¹ en el suelo en la localidad de Santa Rosa de Viterbo – Boyacá. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del suelo en los tratamientos propuestos se examinaron después de muestrear 51 días antes de la siembra y otros 56 días después de la siembra (dds). Realizando 3 muestreos dds (2, 31 y 56) para las variables de crecimiento vegetal. El biochar se aplicó 15 días antes de la siembra. Solo el pH del suelo mostró variaciones significativas a lo largo de las características fisicoquímicas y en las microbiológicas se presentó un aumento en los microorganismos celulolíticos. En términos de crecimiento, el tratamiento con biochar (3.5 ton/ha⁻¹) produjo la mayor cantidad de tallos y flores.

2.1.2. Nacionales

Chancasanampa (2020) en la investigación denominada la “Aplicación de biochar en el cultivo de lechuga var. Great Lakes 659 en el distrito San Agustín de Cajas”, El objetivo era evaluar el impacto de la aplicación y producción de biochar en el cultivo de lechuga, así como las características físicas y químicas del suelo tras la aplicación de este insumo, los tratamientos en estudio fueron distintas dosis de biochar (T₁: 10t/ha, T₂: 15t/ha, T₃: 20 t/ha y T₄: testigo), en los resultados obtenidos la mayor altura de planta fue de 21.5 cm en el tratamiento T₂, el mayor promedio de hojas con 13.63 el T₁, para el peso se realizó a los 110 días, en donde el T₂, con 627,133 gr superó estadísticamente a los otros tratamientos. El estudio del suelo reveló resultados asociados con la aplicación de una mayor dosis de biocarbón, con una disminución de la densidad aparente de 0,035Mg/m³, se incrementó el porcentaje de porosidad 2.545%, el pH se elevó en 0,566, la conductividad eléctrica aumentó en 0,152dS/m, la materia orgánica incrementó su contenido

en 22,175%, el contenido de fósforo total fue de 16,174% más, la CIC en 9,435%, se concluye que el biocarbón es un mejorador del suelo.

Aróstegui (2019), en la “Evaluación del efecto de biochar de residuos de sachá inchi y cacao sobre suelos degradados de Campoverde, Ucayali, usando *Zea mays* como indicador”, El estudio se enfoca en determinar la capacidad restauradora del biochar elaborado con restos agrícolas de sachá inchi y cacao para mejorar las propiedades físicas y químicas de un suelo deteriorado por la agricultura intensiva de la región Ucayali, usando la especie *Zea mays* como indicador. Se obtuvieron diferencias significativas en los resultados en el suelo en donde se aplicó biochar, sin embargo, no hubo una relación directa en el crecimiento del maíz con más altas dosis de biochar. Se descubrió que la dosis más pequeña (5 %) tuvo los mejores resultados, con un pH neutro y un mayor crecimiento de las plantas.

Caipo (2016), en el trabajo de investigación que tiene como título “Efecto de la aplicación del fertilizante orgánico fulvex™ en forma foliar al maíz (*Zea mays* L.) var. marginal 28t utilizado como chala”, se determinó la dosis adecuada del abono orgánico foliar Fulvex para aumentar la productividad del forraje. Se aplicaron diferentes dosis (T₁: 1 lt/ha, T₂: 2lt/ha, T₃: 3lt/ha y T₄: testigo), la aplicación fue vía foliar en el estadio vegetativo V7 a los 30 días después de la emergencia de la plántula. Se midió la altura de la planta de maíz, el número de mazorcas por planta, la longitud de la mazorca por planta, el diámetro basal del tallo, la altura de inserción de la mazorca y la producción de forraje verde. En donde el T₂ con 2lt/ha de Fulvex es el que mejor resultado ofreció con 92.85 t/ha, mientras que el tratamiento T₄ alcanzó 85.07 tn/ha en rendimiento de forraje verde de maíz. En altura de planta y mazorca, T₂ obtuvo 2.80 m y, en el mismo tratamiento se alcanzó la mayor longitud de mazorca con 27.10 cm y el más alto diámetro basal con 20.13 mm.

Mendoza (2019), en la tesis titulada “Compost y biochar en la producción y calidad de vainita (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Jade en la Molina”, en la investigación se evaluaron T₂: biochar, T₃: compost, T₄: la mezcla de ambos y el tratamiento testigo (sin fertilización). Se determinó que las variables % de floración, calidad de producción (longitud y diámetro de vaina),

materia seca (hojas, tallo y fruto) y parámetros del suelo (CE y densidad aparente) no varían significativamente entre tratamientos. La variable número de vainitas por kilogramo, se encontró que el T₂ termina con mayor número de vainitas en la cuarta cosecha, pero de un menor tamaño. En el rendimiento total se presentó diferencias estadísticas, en donde el T₃ presentó el menor rendimiento (6.2 Mg/ha⁻¹) comparado estadísticamente con el tratamiento testigo, T₂ (biochar) y T₄ (biochar + compost), de los cuales el tratamiento T₄ resaltó entre los tres obteniendo 10.1 Mg/ha⁻¹.

2.2. Bases teóricas del biochar y el suelo

2.2.1. Biochar

El biochar es el producto del calentamiento de la biomasa en ausencia o con aire limitado por encima de los 250 °C, un proceso denominado carbonización o pirólisis que también se utiliza para fabricar carbón vegetal, esto favorece una sustancia rica en carbono y cenizas que se devuelve al suelo, mejorando sus condiciones. Se puede utilizar como producto independiente o como componente de un producto combinado, con una serie de usos que incluyen la mejora del suelo, la eficiencia de los recursos, la remediación y/o protección contra contaminantes ambientales específicos y la mitigación de gases de efecto invernadero. (Lehmann y Joseph, 2015).

Se puede utilizar una amplia variedad de biomasa para producir una amplia variedad de materiales de biochar, cada uno con sus propios beneficios y limitaciones, esto les otorgan características químicas muy diferentes. La estructura del biochar puede variar en complejidad, desde estructuras tipo grafito hasta anillos aromáticos de alto peso molecular, conocidas por persistir en el suelo durante miles o millones de años, el biochar presenta una estabilidad biológica y química prolongada frente a la degradación microbiana, lo que permite que sea sustentable en el tiempo (McHenry, 2009).

La mejora del suelo con biochar puede apuntar no solo a la productividad de los cultivos a través de mejoras en la disponibilidad de nutrientes del suelo, sino también en las propiedades físicas del suelo y específicamente las relaciones hídricas o las interacciones entre la planta y

los microorganismos, pero también está involucrado en la remediación del suelo. Se debe a que el biochar contiene la mayoría de los nutrientes que la biomasa contiene en su forma original y pirolizada (Lehmann y Joseph, 2015).

2.2.2. El biochar como insumo para la mejora del suelo

La Figura 1 muestra cuatro objetivos complementarios y frecuentemente sinérgicos que podrían inspirar el uso de biochar para la gestión ambiental:



Figura 1. Motivaciones para aplicar la tecnología de biochar.

Fuente: Lehmann y Joseph (2009)

Biochar es un acondicionador del suelo que mejora y restaura las cualidades físicas, químicas y biológicas al tiempo que mejora la disponibilidad y retención de nutrientes, mejorando su fertilidad a la vez que liberan cantidades importantes de fósforo y otros nutrientes esenciales como el azufre y la mejora la productividad del suelo a largo plazo. Estos beneficios del biochar se han relacionado con una variedad de resultados al ser incorporado al suelo, como la disminución en la densidad aparente, la mejora de la dinámica del agua como resultado del cambio de la estructura del suelo y la capacidad de almacenamiento de agua del terreno (Lehmann y Joseph, 2015).

Las cualidades del biochar tienen el potencial de mejorar las características físicas y químicas del suelo, e incrementar la biomasa de las plantas, además contribuye al medio ambiente mediante al secuestro de

carbono, por esto, surge como una herramienta para luchar contra el cambio climático (Olmo, 2016).

Se ha demostrado que agregar biochar a un suelo con deficiencia de nutrientes mejora el crecimiento de las plantas. Esto se puede atribuir a que esta enmienda mejora el crecimiento de las plantas expresado en los nutrientes proporcionados por el biochar, el uso eficiente de nutrientes y ambiente favorable para la biosfera. El biochar está compuesto por nutrientes minerales que incluyen N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Cu, Zn y B (Arango, 2022).

2.2.3. Beneficios de aplicar biochar y fertilización juntos

Es fundamental mejorar la eficacia de los fertilizantes para aumentar la producción agrícola. Según Chan et al. (2007), descubrió que el uso del biochar en lugar de fertilizantes a base de nitrógeno no aumenta la productividad, sin embargo, con la adición de fertilizantes y carbón, la producción mejoró notablemente, esto sugiere que el uso eficiente del nitrógeno por parte de las plantas podría mejorarse mediante el uso de biochar.

Biochar brinda grandes oportunidades para convertir la “Revolución Verde” en una práctica agro ecosistémica sostenible. Los buenos rendimientos de insumos cada vez más caros, como los fertilizantes, dependen de niveles apropiados de materia orgánica del suelo, que se pueden asegurar mediante la gestión del suelo con biochar a largo plazo (Kimetu et al, 2008; Steiner et al, 2008). Biochar ofrece una oportunidad única para aumentar la fertilidad del suelo y la eficiencia en el uso de nutrientes de una manera sostenible mediante la utilización de recursos renovables y accesibles localmente. La adopción de la gestión del biocarbón no necesita la adquisición de recursos adicionales, sino que hace un uso más eficiente y ecológico de los recursos actuales. Los agricultores en agroecosistemas con recursos limitados pueden convertir residuos orgánicos y combustibles de biomasa en biochar sin comprometer el rendimiento energético y, al mismo tiempo, generar un rápido retorno de la inversión (Lehmann y Joseph, 2015).

2.2.4. Caracterización del biochar

Debido al hecho de que contiene componentes estables e inestables, se considera que el biochar tiene una composición muy heterogénea (Sohi et al., 2009). El carbono fijo, los productos químicos volátiles, la humedad y los elementos minerales como las cenizas se encuentran entre sus componentes clave. La proporción de estos componentes varía de acuerdo con el material usado y el proceso de descomposición termoquímica a la que se somete por calentamiento en ausencia de oxígeno, este proceso se denomina pirólisis (Antal y Gronli, 2003).

El biochar se puede utilizar como producto en sí mismo o como un ingrediente dentro de un producto mezclado, con una variedad de aplicaciones como agente de mejora del suelo, el aumento en la eficiencia del uso de los recursos, la remediación y / o la protección contra la contaminación ambiental particular, y como una vía para la mitigación de los gases de efecto invernadero (International Biochar Initiative, 2015).

2.2.5. Métodos de aplicación de biochar al suelo

Para realizar una aplicación se debe considerar el tipo de suelo, las prácticas agrícolas, el clima y la capacidad de erosión del suelo, la forma de aplicación depende de si se utiliza o no maquinaria, si es superficial y si se homogeniza con el suelo, o a profundidad en que se realiza muy cerca de las raíces, para evitar la erosión del suelo. La aplicación debe hacerse cuando no haya viento, y es mejor mojarlo para reducir las pérdidas de aire. Las cantidades a utilizar deben basarse en los resultados de experimentos, se puede utilizar en forma de perdigones junto con otro tipo de enmiendas orgánicas o fertilizantes. La cantidad de 5 a 50 t/ha⁻¹ utilizada en combinación con una correcta dosis de fertilización, mostraron resultados favorables sobre el rendimiento de cultivos. Además, a diferencia de los abonos o el compost, no es necesario aplicarlo repetidamente a un cultivo porque sus efectos persisten en el suelo debido a tener aspectos recalcitrantes (Major, 2010).

2.2.6. Suelo

El suelo es un cuerpo natural y dinámico que cambia a través del tiempo y el lugar. Contiene una amplia gama de microorganismo, incluida la flora, que

es una característica importante dado que las actividades agrícolas dependen de ella como fuente de alimento para la humanidad. Está compuesto de partículas minerales (arena, limo y arcilla), materia orgánica y microbios y sirve como depósito de nutrientes y otros ingredientes químicos necesarios para el desarrollo de las plantas. Esto hace que el suelo tenga propiedades físicas, químicas y biológicas de naturaleza dinámica que cambian según el uso, manejo y el tiempo (Bautista, 1998).

El suelo es la capa de componentes orgánicos y minerales que recubre la corteza terrestre y en la cual las plantas forman sus raíces y obtienen los nutrientes que requieren. Los procesos físicos, químicos y biológicos contribuyen a la formación del suelo, que está influenciado por factores ambientales como el clima y la vegetación. Estos actúan en forma combinada y variable, de manera que los suelos resultantes de su acción son complejos organismos sujetos a mudanza continua y que nunca alcanzan una condición estática (Suarez, 1979).

2.2.7. Importancia del suelo

El suelo es un sistema vital en sí mismo, porque proporciona la mayoría de los alimentos que necesita la población mundial en constante aumento. La importancia del suelo se demuestra por las funciones fundamentales que realiza, como servir como base para diversos ecosistemas y el sustento de toda la vida en la Tierra. Proporcionar una matriz física, un entorno químico y un hábitat biológico para que los organismos intercambien agua, nutrientes, aire y calor. Este proporciona alimento, forraje, madera y fibra, el 96% de la alimentación humana se obtiene del suelo (Pimentel et al., 1994).

2.2.8. Parámetros o indicadores del suelo

La condición del suelo es un aspecto importante en el desarrollo de métodos de agricultura sostenible. Su estado tiene un impacto significativo en el funcionamiento y sostenibilidad de los ecosistemas. La calidad del suelo está relacionada directamente con sus funciones, la estimación de la calidad requiere una serie de indicadores que cuantifiquen su estado, esto debe ser evaluado como un todo, integrando todas las partes del sistema (Estrada et al., 2017).

Existen numerosos parámetros que nos permiten determinar los niveles de calidad de un suelo, dando como resultado las características físicas, químicas y biológicas del suelo, las cuales deben ser fáciles de medir, aún los más sensibles cambios generados por las prácticas de manejo, cuyos valores indicarían la calidad (Larson y Pierce, 1991; Dexter, 2004).

2.2.7. Importancia del suelo

El suelo constituye un sistema vital de alta importancia, bajo la sola consideración de que la mayor parte de la producción alimentaria requerida por la población mundial en continuo crecimiento depende de ellos. La importancia del suelo está dada por las esenciales funciones que lleva a cabo, sirviendo como base para varios ecosistemas, así como el sostenimiento de toda la vida en la tierra. Proporcionando una matriz física, un entorno químico y un entorno biológico para el intercambio de agua, nutrientes, aire y calor para los organismos. Este proporciona alimento, forraje, madera y fibra, el 96% de la alimentación humana se obtiene del suelo (Pimentel et al., 1994).

2.2.8. Parámetros o indicadores del suelo

Uno de los factores clave en el desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles es la calidad del suelo. Su estado influye en gran medida en el funcionamiento y la sostenibilidad de los ecosistemas. La calidad del suelo está relacionada directamente con sus funciones, la estimación de la calidad requiere una serie de indicadores que cuantifiquen su estado, esto debe ser evaluado como un todo, integrando todas las partes del sistema (Estrada et al., 2017).

Existen numerosos parámetros que nos permiten determinar los niveles de calidad de un suelo, dando como resultado las características físicas, químicas y biológicas del suelo, las cuales deben ser fáciles de medir, aún los más sensibles cambios generados por las prácticas de manejo, cuyos valores indicarían la calidad (Larson y Pierce, 1991; Dexter, 2004).

Indicadores físicos

La calidad física del suelo está ligada al uso eficiente de agua, fertilizantes y pesticidas, lo que minimiza las emisiones de gases de efecto invernadero. Como resultado, hay un aumento en la producción agrícola

(Lal et al., 1998). La calidad física del suelo no se puede medir directamente, pero se infiere a través de indicadores de calidad del suelo estáticos o dinámicos, y medición de atributos del mismo, que se influyen por el uso y prácticas de manejo (Carter, 2002; Sánchez et al., 2002; Dexter, 2004). La estructura, la densidad aparente, la estabilidad de los agregados, la infiltración, la profundidad del suelo superficial, la capacidad de almacenamiento del agua y la conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad (García et al., 2012).

Tabla 1. Conjunto de indicadores físicos

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes
Físicas		
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo	% de arena, limo y arcilla; pérdida del sitio o posición del paisaje
Profundidad del suelo superficial y raíces	Estima la productividad potencial y la erosión	cm o m
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lavado; productividad y erosividad	minutos/2.5 cm de agua y g/cm ³
Capacidad de retención de agua	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica	% (cm ³ /cm ³), cm de humedad aprovechable/30 cm; intensidad de precipitación

Elaborado por: (Cruz, 2004)

Fuente: (Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; Seybold et al., 1997)

Indicadores químicos

Los indicadores químicos se refieren a las condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, y la disponibilidad de agua y nutrientes para las

plantas y los microorganismos (SQI, 1996). Entre ellos se encuentran la disponibilidad de nutrimentos, el carbono orgánico total, el carbono orgánico lábil, el pH, la conductividad eléctrica, la capacidad de absorción de fosfatos, la capacidad de intercambio de cationes, los cambios en la materia orgánica, el nitrógeno total y el nitrógeno mineralizable (García et al., 2012).

Tabla 2. Conjunto de indicadores químicos

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación
Químicas		
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión	Kg de C o N ha ⁻¹
pH	Define la actividad química y biológica	comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y microbiana	dSm ⁻¹ ; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
P, N, y K extractables	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental	Kg ha ⁻¹ ; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos

Elaborado por: (Cruz, 2004)

Fuente: (Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; Seybold et al., 1997).

a. Materia orgánica

La cantidad de materia orgánica en el suelo, que incluye todas las sustancias orgánicas fácilmente disponibles, oscila entre el 0,1 y el 10 % de la masa del suelo. Valores bajos de materia orgánica muestran un suelo deficiente en nutrientes, siendo necesaria la aplicación de fertilizantes ricos en

nitrógeno que permitan el correcto crecimiento y desarrollo de la planta, Además, se puede agregar compost para fertilizar los cultivos y reponer el material orgánico que se ha agotado debido al uso excesivo de ese suelo en la agricultura (Andrades & Martínez, 2014).

Tabla 3. Niveles de MO (%), según tipo de suelo

Clasificación	Arenoso	Franco	Arcilloso
Muy bajo	< 0.7	< 0.1	< 1.2
Bajo	0.7 – 1.2	1.0 – 1.5	1.2 – 1.7
Normal	1.2 – 1.7	1.5 – 2.0	1.7 – 2.2
Alto	1.7 – 2.2	2.0 – 2.5	2.2 – 3.0
Muy alto	> 2.2	> 2.5	> 3.0

Elaborado por: (Solano, 2021)

Fuente: (Andrades y Martínez, 2014)

b. pH

Según Parra et al. (2003), el pH es una medida de la concentración de iones hidrógenos (H^+) en una disolución de suelo, expresado en grado de acidez o alcalinidad. Esto tiene un impacto en la disponibilidad de nutrientes y la solubilidad del cultivo. La categoría de suelo está directamente con el nivel de pH, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 4. Categoría de suelo y pH

Categoría/Suelo	pH
Fuertemente ácido	<5
Moderadamente ácido	5.1 - 6.5
Neutros	6.6 - 7.3
medianamente alcalinos	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalinos	>8.5

Elaborado por: (Altamirano, 2019)

Fuente: (Osorio, 2012)

c. Conductividad eléctrica

Según Honorato (2000), es la capacidad del suelo en adherir y sustituir cationes; la energía de atracción varía de acuerdo con el catión. Esta propiedad está vinculada a la arcilla, limo y a la parte coloidal del suelo, para lo cual tenemos:

- Iones intercambiables: pueden ser intercambiados en función de soluciones con concentraciones y pH estandarizados.
- Iones no intercambiables: son iones que se encuentran en lugares poco accesibles y ligados químicamente a otros compuestos.

d. N, P, y K extractables

Nitrógeno

El nitrógeno es uno de los macroelementos más importantes requeridos para el cultivo porque es esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Es componente de muchas sustancias importantes en el metabolismo de las plantas, debido a esto, no es raro observar un crecimiento lento de los cultivos en suelos con bajos niveles de nitrógeno, las plantas inicialmente presentan clorosis en sus hojas más viejas, y se generaliza cuando la deficiencia no se corrige a los niveles que requiere el cultivo, para cubrir sus necesidades, en todas las etapas fenológicas del ciclo de desarrollo (Juárez, 2018).

Es fundamental conocer la cantidad de nitrógeno que contiene la materia orgánica del suelo, y se realizó un análisis de suelo para estimar su aporte, a partir de estos resultados se puede establecer la dosis exacta que necesita cada cultivo, acorde a la demanda durante todo el su ciclo de desarrollo.

Fósforo

El fósforo, un macroelemento esencial en procesos metabólicos como la fotosíntesis, el transporte de energía y la síntesis y descomposición de carbohidratos, es necesario para el crecimiento de las plantas. El fósforo puede estar presente tanto en sustancias orgánicas como en minerales del suelo. Sin embargo, en comparación con las necesidades de los cultivos, la cantidad de fósforo en el suelo es bastante baja. Entonces, es necesario la

aplicación de fertilizantes fosfatados para cubrir los requerimientos nutricionales de los cultivos (Juárez, 2018).

Potasio

El potasio (K) juntamente con el N y el P es de vital importancia en el rendimiento de producción de cultivos, el potasio intercambiable es la que se encuentra disponible en el suelo para ser extraídas por las plantas, favorecen la formación de hidratos de carbono, incrementa la consistencia de los tejidos lo que da resistencia a ciertas enfermedades y las heladas (Andrades & Martínez, 2014).

2.3. Fundamentación teórica de *Zea mays*

2.3.1. Importancia

Según Briceño (2012), el maíz radica su importancia desde diferentes aspectos, inicialmente desde el punto de vista alimenticio, contribuye a la seguridad alimentaria de la población mundial, principalmente de sectores marginados, puesto que en sus distintas etapas sirve como alimento al hombre y animales, también contribuye con la generación de fuentes de mano de obra en las diferentes labores desde la siembra, cosecha y su procesamiento industrial, asimismo se considera para el maíz un incremento de la tasa de la demanda anual en el consumo.

2.3.2. El cultivo de maíz en el Perú

En el Perú, se cultiva el maíz amiláceo en mayor porcentaje principalmente en la sierra, el maíz amarillo duro en la costa y selva, el maíz choclo y maíz morado en la costa y sierra, asimismo el maíz forrajero y maíz reventón se cultivan en la costa y sierra, en lo que concierne al maíz amarillo duro, representa el segundo cultivo en superficie sembrada, después del arroz y dada la demanda del mercado interno, la producción nacional creció sostenidamente a partir del año 2000 debido principalmente a un incremento en el rendimiento por unidad de superficie y contribuyo a ello el uso de semilla de híbridos de buen potencial de rendimiento, se considera que de la totalidad del maíz amarillo duro obtenido aproximadamente del 85 % al 90 % es utilizado para la elaboración de alimento balanceados de aves y ganado, el

resto se comercializa en mercados caseros locales y autoconsumo de los productores. de proteína (Briceño, 2012).

En el Perú el consumo de ave es una fuente de proteína animal y de menor costo para la población se ha incrementado significativamente de 11.26 kg/hab/año en el 1990, llegando en la actualidad a un consumo per cápita alrededor de 48 kg/hab/año, siendo el principal insumo en la preparación de alimentos balanceado el maíz, debiendo incluso efectuarse importaciones de más de 1 MTM para satisfacer la demanda interna (Briceño, 2012).

2.3.3. Producción de maíz en Huánuco

Briceño (2012) menciona que Huánuco presenta condiciones óptimas para el desarrollo del maíz amarillo, amiláceo y choclero, en las diferentes áreas existentes y que corresponden tanto a la región de selva y sierra, afrontando la problemática existente para el maíz en todas sus características, debiendo notar en ello la falta de un adecuado asesoramiento, inadecuado manejo del cultivo, bajos niveles e inoportunos momentos de abonamiento y fertilización, reutilización de semilla proveniente de campos de maíz de híbrido, utilización de semilla propia, e inadecuada selección de semillas, sumado a la escasa producción de semilla de calidad, además de diseminación y atomización de las áreas de siembra.

2.3.4. Clasificación taxonómica

Según Fernández (2009), manifiesta que el maíz está clasificado dentro de una sola especie botánica, *Zea mays* L. En la nomenclatura botánica se encuentra clasificado:

Reino: Vegetal

División: Embriofitas

Subdivisión: Angiospermas

Clase: Monocotiledóneas

Orden: Glumiflorales o Graminales

Familia: Poacea

Subfamilia: Panicoideas

Tribu: Maydae

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays* L.

2.3.5. Morfología del maíz

a. Raíces

Según Gonzales (2016), las raíces del maíz son fibrosas y adventicias y crecen rápidamente. El sistema radicular fasciculado consta de tres tipos de raíces:

Tabla 5. Clases de raíces en maíz

Clases de raíces en maíz	
Raíz Principal o seminal o embrional	Es de corta duración, cumple la función de absorción de alimentos y agua, y desaparece después de unos 15 días cuando se gasta el endospermo.
Raíces adventicias o permanentes	Nacen en el segundo nudo basal o nudo superior del mesocotilo, son permanentes y pueden crecer hasta 1,80 m de diámetro y 2 m de profundidad.
Raíces caulinares o soporte	Son aéreas, complementan la absorción, dan sostén, son fotosintéticas y aparecen en la base de la planta, en los nudos inferiores, generalmente después del aporque.

Elaboración propia

Fuente: (Briceño, 2012)

b. Tallo

El tallo del maíz es macizo, cilíndrico, leñoso o semileñoso, tiene entre 8 a 26 nudos asimismo entre 7 a 25 entrenudos, presenta un tabique abultado o nudo verdadero o caulinar donde nace la hoja y la yema; el nudo vaginal es la base de la vaina de la hoja, envuelve al entrenudo. Dominancia apical (Briceño, 2012).

c. Hojas.

Las hojas tienen disposición helicoidal alterna morfológicamente tienen vaina, lígula, limbo, son paralelinervias, es importante mencionar que las hojas

situadas en la parte inferior de la planta tienen efecto en las raíces y aquellas situadas sobre la mazorca, en la mazorca y debajo de ella, influyen considerablemente en el desarrollo y llenado del grano (Briceño, 2012).

d. Inflorescencia masculina.

Denominada espiga o panoja, presenta un raquis, a cuyo largo se distribuyen las espiguillas que contienen 2 flores estaminadas, protegidas por dos glumas o brácteas que tienen en su interior un eje con dos flósculos los cuales tienen la flor estaminada protegida por la lema y la palea, cada flor está compuesta por tres estambres y antera que contiene los granos de polen, presentan además dos lodículas y un pistilo rudimentario (Briceño, 2012).

e. Inflorescencia femenina

Mazorca, es una espiga modificada que consta de un raquis central donde se insertan las espiguillas a lo largo en pares, presentan glumas, lema, palea rudimentaria, cada espiguilla está formada por dos flores 1 fértil y 1 estéril, lo que determina el número par de hileras, presentan un ovario único unilocular y un estilo bastante largo y de característica estigmática en toda su longitud (Briceño, 2012).

f. Fruto

Según Briceño (2012), la mazorca, que está formada por un número par de hileras de granos, puede variar desde 8 para algunos maíces peruanos hasta 30 para algunos híbridos, y es el botón floral axilar desarrollado, con un tallo corto en la base.

2.3.6. Aspectos fisiológicos

Briceño (2012), menciona que las fases fenológicas de un cultivo se dividen en dos grupos:

- Fases vegetativas: Estas fases van desde el inicio de la germinación y terminan cuando la inflorescencia masculina es completamente visible emerge a través del cogollo (V).
- Fases reproductivas: Debe considerarse desde el momento que madura la espiga y se produce la antesis liberándose el polen (R).

Fases fenológicas

- Emergencia VE o VO
- Una hoja V1
- Dos hojas V2
- Cuatro hojas V4 Crecimiento lento
- Seis hojas V6 Crecimiento acelerado
- Ocho a 16 hojas V8, V16, Vn Número de hojas desplegadas o más hojas
- Panoja completamente emergida (VT)
- Antesis RO, Liberación del polen
- Floración femenina R1 - estilos visibles Polinización.
- Grano en forma de ampolla o perla R2. Contenido líquido claro
- Grano lechoso, R3, contenido del grano líquido blanquecino
- Grano pastoso, R4 el contenido del grano es pastoso
- Grano duro, R5 línea de leche, endurecimiento del grano
- Madurez fisiológica, R6 capa negra

2.3.7. Manejo agronómico

a. Preparación del suelo

El suelo debe estar arado entre 30 a 40 cm, es necesario preparar el suelo para la siembra y que pueda permitir a la semilla en su primera etapa del proceso de germinación y emergencia encontrar las condiciones idóneas para que se cumpla este proceso, de tal manera que es pertinente efectuar una buena preparación, evitando tener suelos compactos, con terrones y brindar una adecuada pendiente que favorecerá que el agua de riego discurre y se difunda convenientemente a través de los surcos permitiendo humedecer adecuadamente la zona de la rizosfera (Briceño, 2012).

b. Semilla

Se considera como el insumo tecnológico para propiciar la innovación, ella responde a la interacción genotipo-medio ambiente, debe seleccionarse adecuadamente teniendo en consideración sus requerimientos, asimismo ella debe tener los siguientes atributos de una semilla de calidad : pureza genética la cual estará denotada por la procedencia de un proveedor garantizado y no debe existir semillas de otra que no se está deseando sembrar, vigor y viabilidad que garantice una adecuada performance en campo sanidad, libre de ser portadora de plagas y enfermedades (Briceño, 2012).

c. Sistema y Densidad de siembra

El número de semillas sembradas nos dará un hipotético número de plantas por área, el mismo que no será igual al momento de la cosecha, debido a los diferentes factores actúan de manera distinta en el crecimiento inicial y posterior establecimiento del cultivo. La cantidad de semillas a utilizar determina la altura de planta, así en plantas altas de variedades locales, se utilizarán distanciamientos mayores entre surco y entre plantas, obteniendo menor densidad de plantas por unidad de superficie (Briceño, 2012).

En el caso de maíz challa cuyo objetivo es su utilización como alimento de ganado lechero, entonces la densidad de siembra debe ser de 40,000 plantas por hectárea para plantas altas, y hasta 120,000 plantas por hectárea para el maíz forrajero; a una distancia entre hileras de 0.75 a 1 m, y 0.45 a 0.75 m entre golpes (Quispe, 2017).

d. Control de maleza

Una de las dificultades en el manejo del cultivo es la presencia de plantas no deseables en el campo, las que con su presencia y elevada densidad poblacional contando además como a las más agresivas a aquellas especies homólogas al cultivo, puesto que compiten por luz, agua, rientes, espacio, son hospederas de plagas y enfermedades, además que dificultan las labores agronómicas elevan los costos de producción, por lo cual se hace necesario establecer una estrategia para evitar los problemas que ellas acarrear, debiendo ser oportunos en su control (Briceño, 2012).

e. Aporque

Manrique (1997), menciona que esta actividad consiste en la acumulación de tierra alrededor del tallo. Con esta práctica se cumple 2 finalidades:

- Promueve la estabilidad y fortaleza de la planta aumentando la resistencia a la acción del viento y bajando el acame, además de fomentar el desarrollo de la adventicia de nivel inferior.
- Favorece la absorción de nutrientes por la planta y ayuda al enterramiento de la segunda fertilización nitrogenada (cuando la

planta tiene 40-60 cm de altura, ya sea mecánica o manualmente; 45 días después de la siembra).

f. Abonamiento y fertilización

Según Briceño (2012) es necesario efectuar un análisis de suelo en donde se instalará el cultivo, para determinar de forma más precisa la cantidad de fertilizante a utilizar en dicho cultivo.

En el caso del maíz chalero las dosis recomendadas promedio es de 180-70-70 de NPK, llegando hasta los 250-100-100 de NPK. Los momentos de aplicación se realizan en dos momentos en la 1ª todo el fósforo y potasio y 50 % de nitrógeno, efectuar la Primera fertilización antes de la siembra, a la siembra o de 2 a 7 días de la emergencia, y la 2ª al momento del aporque cuando las plantas tengan entre 40 a 50 cm. Incorporando el restante de fertilizante nitrogenado.

g. Riegos

Violic (2001) menciona que el maíz requiere durante todo su periodo vegetativo entre 550 a 650 mm de precipitación pluvial, se requiere riego suplementario, y esto se puede hacer durante los períodos más importantes del desarrollo del cultivo.

- De preparación del suelo o machaco
- Después de la primera fertilización, luego de la germinación
- Después del aporque
- De la floración antes de la emisión de los estigmas
- De llenado y maduración.

h. Manejo de plagas y enfermedades

Según Briceño (2012), la plaga *Spodoptera frugiperda* más conocida como el cogollero, causa severos daños al cultivo principalmente en sus primeras etapas de desarrollo, existe mayor incidencia de esta plaga en épocas de ausencia de lluvias. El control de esta plaga debe efectuarse de manera oportuna, considerándose que siempre estará presente en el cultivo, de ello se deduce que es necesario iniciar la estrategia de control respectivo inmediatamente después de la emergencia.

Hongos, bacterias, virus y nematodos pueden causar enfermedades del maíz. Su prevalencia varía según el hábitat, hábito, estación, ubicación y campo agrícola. Su control se puede hacer usando semillas híbridas, genéticamente resistentes o tolerantes a las enfermedades, o bien aplicando buenas prácticas de cultivo, así como control de malezas, aplicación de fungicidas y adecuado uso de fertilizantes y riegos (Manrique A., 1997).

i. Cosecha

Menciona Alviz (2015), la fecha de cosecha de un cultivo de maíz está determinada por el tipo de uso comercial que se le pueda dar: maíz, forraje o grano. La recolección se puede realizar manualmente o con maquinaria agrícola.

j. Cosecha de maíz forrajero

El momento óptimo de cosecha de un cultivo de maíz a la producción de chala o forraje, se encuentra cuando el endospermo de los granos comienza a presentar grano lechoso; con una humedad aproximada de 60 % de la planta (Hancock, 2021).

Briceño (2012), menciona que la cosecha se realiza de acuerdo al objetivo, así para grano a la madurez fisiológica alrededor del 35 % de humedad, siendo más adecuado entre 20 a 25 %, con la finalidad de evitar la pudrición de mazorcas y facilitar el desgrane; la cosecha para choclo se realiza aproximadamente a los 40 a 50 días de la floración y por un lapso entre 10 a 15 días; en la cosecha para forraje en la alimentación de cuyes se efectúa entre los 80 a 90 días de la siembra. Para ganado lechero se cosecha cuando aún no se ha formado la capa negra, el grano este lechoso y tiene 60 % de humedad se denomina chala chocleada, de uso común en la costa peruana.

Para producir el mayor rendimiento de materia seca digerible, el maíz debe recolectarse para ensilaje antes de que se forme la capa negra, momento en el que se cree que la planta ha acumulado su mayor valor nutricional y es más ideal para su uso como alimento.

2.3.8. Indicadores de rendimiento

a. Altura de planta y diámetro de tallo

El crecimiento de la planta de maíz es influenciado por una serie de factores, incluyendo la disponibilidad de nutrientes, la interacción genética, y las condiciones ambientales. Estudios como el de Lian et al. (2014) han demostrado que el suministro adecuado de nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, puede aumentar la altura de la planta y el diámetro del tallo.

b. Índice SPAD

El índice SPAD (del inglés "Soil-Plant Analysis Development") es una herramienta comúnmente utilizada para medir la concentración de clorofila en las hojas de las plantas, lo que proporciona información valiosa sobre su estado nutricional y salud. Este índice se basa en la absorción de la luz en las hojas, específicamente en la longitud de onda de 650 nm y 940 nm. Cuando se mide la absorción de luz a estas longitudes de onda, se puede calcular el contenido de clorofila en las hojas, lo que a su vez se correlaciona con la capacidad fotosintética de la planta. Estas mediciones SPAD son útiles para monitorear la salud de las plantas y optimizar la fertilización, ya que indican si la planta está recibiendo los nutrientes necesarios para un crecimiento saludable (Gitelson et al., 2003).

c. Índice de área foliar

El IAF es una medida de la eficiencia de la planta en la captura de luz solar. Investigaciones, como el trabajo de Hirose y Werger (1987), han demostrado que un mayor IAF está relacionado con una mayor producción de biomasa, ya que permite una mayor fotosíntesis y captura de recursos.

Según Sánchez et al. (2013), el IAF se puede calcular midiendo la superficie de todas las hojas en una unidad de área determinada y luego dividiendo la superficie total de las hojas por la superficie de la unidad de área. Este valor se puede utilizar para comparar diferentes especies de plantas o para comparar diferentes tratamientos de cultivo en la misma especie.

d. Biomasa aérea fresca y seca

La biomasa aérea, que incluye los tallos, hojas y otras partes aéreas de la planta, es un indicador importante del rendimiento del cultivo de maíz.

La biomasa aérea fresca se refiere a la masa total de estas partes antes de la deshidratación, mientras que la biomasa aérea seca se refiere a la masa después de la eliminación del agua. Estas mediciones son fundamentales para evaluar la cantidad de materia orgánica y nutrientes producidos por la planta. Investigaciones de Moraes et al. (2017) han demostrado que la biomasa aérea fresca y seca se correlaciona positivamente con el rendimiento y la cantidad de grano en el maíz.

e. Biomasa radicular

La biomasa radicular, que comprende las raíces de la planta, es esencial para la absorción de agua y nutrientes del suelo. Un sistema radicular saludable y bien desarrollado es crucial para el rendimiento del cultivo, ya que facilita la captura eficiente de recursos del suelo. Estudios, como el de Lynch (2013), han destacado la importancia de un sistema radicular saludable para garantizar un suministro adecuado de nutrientes y agua a la planta.

2.3.9. Indicadores de calidad del suelo.

a. pH del suelo

El pH del suelo es un indicador de su acidez o alcalinidad y desempeña un papel esencial en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Brady y Weil (2017) han examinado cómo el pH del suelo influye en la solubilidad y movilidad de los nutrientes en el suelo. Un pH adecuado es fundamental para garantizar que las plantas puedan absorber los nutrientes necesarios para su crecimiento. Por lo tanto, el pH del suelo es un factor crítico en la gestión de la fertilidad y la nutrición de las plantas en la agricultura.

b. Contenido de materia orgánica

La materia orgánica del suelo es una fracción vital que influye en su fertilidad y calidad. Consiste en materiales orgánicos en descomposición, como residuos de plantas y animales. Esta materia orgánica mejora la estructura del suelo, aumenta su capacidad para retener agua y nutrientes, y fomenta la actividad microbiana beneficiosa. Las investigaciones de Lal (2015) han destacado cómo la materia orgánica puede desempeñar un papel fundamental en la mejora de la calidad del suelo y, por lo tanto, en el rendimiento de los cultivos.

c. Fósforo disponible

El fósforo es un nutriente esencial para las plantas, ya que desempeña un papel clave en procesos como la fotosíntesis y la transferencia de energía celular. La disponibilidad de fósforo en el suelo es crucial para el crecimiento de las plantas. Estudios como los de Richardson y Simpson (2011) han investigado cómo la cantidad y forma de fósforo presente en el suelo afectan la absorción y el rendimiento de las plantas. Una comprensión sólida de la dinámica del fósforo en el suelo es esencial para optimizar la gestión de nutrientes en la agricultura.

2.4. Bases epistemológicas o bases filosóficas

Según el positivismo, cuyo nombre en griego es "*positum*", se refiere a hechos concreto y cuantificable que se pueden medir y controlar de forma predecible; cualquier estudio o cuerpo de conocimiento que no tenga una base en hechos no es científico y, como resultado, está fuera del alcance de su investigación (Gómez, 2012).

La fundamentación teórica de la investigación sobre el “Efecto del biochar sobre el suelo y rendimiento del maíz chala, en el Centro de Investigación de Canchán, 2022”, se identifica con la corriente filosófica positivista. También se ve en las ciencias naturales fácticas porque los hechos o acontecimientos serán examinados y observados en una situación determinada. La epistemología, la ontología y la axiología ambientales son tres preocupaciones principales en la filosofía ambiental y el desarrollo sostenible en particular.

III. METODOLOGÍA

3.1. **Ámbito**

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro de Producción, investigación y Experimentación Canchan; durante los meses de julio a noviembre del 2022.

Ubicación política

Departamento : Huánuco
Provincia : Huánuco
Distrito : Quisqui
Lugar : El Centro de Investigación Producción Canchan

Posición geográfica

Latitud Sur :09°92'15''
Longitud Oeste :76°31'00''
Altitud :2020 msnm

3.1.1. **Características agroecológicas de la zona**

Clima

La zona experimental en la que se realizó la investigación pertenece a la zona de vida denominada monte espinoso Montano Bajo Tropical (mte-MBT). Esta zona se caracteriza por tener un clima cálido y húmedo, con temperaturas que oscilan entre los 19°C como mínima y alcanzan los 26°C como máxima, con una temperatura media anual de 22°C. Además, presenta una precipitación pluvial anual de 281,80 mm y una humedad relativa promedio anual de 64,32%. Estas condiciones agroecológicas proporcionaron un contexto propicio para el desarrollo de cultivos y fueron tomadas en consideración durante el desarrollo del estudio.

Suelo

El centro de investigación Canchán se encuentra en una zona con una topografía de poca pendiente, con una inclinación del terreno de aproximadamente 2.5%. Esta pendiente moderada es favorable para la realización de actividades agrícolas y de investigación, ya que facilita el drenaje del agua y permite un manejo adecuado del suelo. Además, el suelo en esta zona se caracteriza por tener una textura franco arcillosa, lo que

proporciona una buena retención de nutrientes y agua para el crecimiento de los cultivos.

Según el análisis de suelo del área experimental, realizado en el laboratorio de suelos de la facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. El suelo presenta un pH neutro, es favorable para la absorción de nutrientes; presenta un porcentaje de 0.9 % materia orgánica, esto se relaciona en el mismo rango de disponibilidad de nitrógeno, este elemento es esencial para el crecimiento en el cultivo de maíz para forraje. La disponibilidad de fósforo es esencial para la fotosíntesis y el desarrollo radicular; mientras el potasio es esencial para el llenado de granos en la mazorca. La textura del suelo es franco arcilloso, propiedades físicas favorables para el desarrollo del cultivo de maíz (Tabla 6). Con los datos del análisis de suelo se calculó la dosis de fertilización requerida para cada tratamiento.

Tabla 6. Análisis de suelos del centro de investigación Canchan

Análisis	Resultado	Calificación
pH	6.92 pH	Neutro
CE	1.054 dS/m	Normal
Nitrógeno total	0.14 %	Medio
Materia orgánica	0.9 %	Bajo
Fosforo disponible	28.52 ppm	Alto
Potasio disponible	112.73 ppm	Medio

Fuente: Laboratorio de suelos de la facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

3.1.2. Características del compost

El compost usado fue de estiércol descompuesto de bovino, las características físico-químicas se detallan en la tabla 7.

Tabla 7. Características físicas del compost

Análisis	Resultado
pH	8.22 pH
CE	1.19 dS/m
Nitrógeno total	1.74 %
Materia orgánica	46.11 %
Fosforo disponible	0.95 ppm
Potasio disponible	1.19 ppm

3.2. Población

La población en estudio consistió en un total de 4480 plantas de maíz para forraje, con 224 plantas por cada unidad experimental. Esta cifra representa el número total de plantas de maíz consideradas en el análisis y proporciona una base sólida para la realización de la investigación.

3.3. Muestra

En total, se seleccionaron 80 plantas de maíz como muestra en el campo experimental. Para lograr esto, se tomaron 4 plantas de maíz de cada unidad experimental, considerando el área neta. Esta estrategia de muestreo permitió obtener una muestra representativa y significativa de las plantas de maíz en estudio.

Tipo de muestreo

Durante la investigación, se utilizó un enfoque de muestreo probabilístico conocido como muestra aleatoria simple (MAS). Este método permitió seleccionar las plantas de maíz del área neta experimental de manera imparcial y sin considerar características específicas ni criterios subjetivos. Cada planta tuvo la misma probabilidad de ser incluida en la muestra, lo que aseguró que la muestra fuera representativa de toda la población de plantas de maíz en el área neta. Con este enfoque, se buscó minimizar el sesgo y obtener resultados confiables para el análisis de la investigación.

3.4. Nivel y tipo de estudio

3.4.1. Nivel de investigación

El diseño de la investigación fue de naturaleza experimental, ya que se llevó a cabo la manipulación de la variable independiente, que en este caso fue el biochar, con el propósito de evaluar su efecto en las características del suelo y el rendimiento del cultivo de maíz. Durante el estudio, se observaron diferencias significativas en los resultados entre los distintos tratamientos propuestos.

3.4.2. Tipo de investigación

Este tipo de investigación se considera aplicada porque tuvo como objetivo principal generar conocimientos tecnológicos y prácticos que fueran directamente aplicables en la mejora del cultivo de maíz chala. En lugar de enfocarse únicamente en la generación de conocimientos teóricos, la investigación aplicada busca resolver problemas específicos en el ámbito práctico y proporcionar soluciones concretas y aplicables.

3.5. Diseño de investigación

Se empleó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con cinco tratamientos y cada uno con cuatro repeticiones, haciendo un total de 20 unidades experimentales.

Entonces, el diseño DBCA se ajustó al siguiente modelo aditivo lineal:

$$Y_{ij} = u + T_i + B_j + E_{ij}$$

Para: $i = 1, 2, 3, \dots, t$ (n° de tratamientos)

$j = 1, 2, 3, \dots, r$ (n° de repeticiones, bloques)

Donde:

Y_{ij} = Observación de la unidad experimental

U = Media general

T_i = Efecto del i – ésimo tratamiento

B_j = Efecto del j – ésimo repetición

E_{ij} = Error aleatorio

El presente trabajo de investigación está constituido por cinco tratamientos con cuatro repeticiones, como se indican a continuación:

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos

CLAVE	TRATAMIENTO	INSUMO	CANTIDAD
T1	Biochar 1%	Biochar	44.8 kg
T2	Biochar 1% + Compost	Biochar	44.8 kg
		Compost	17.25 kg
T3	Biochar 1% + NPK	Biochar	44.8 kg
		Urea	1.63 kg
		Superfosfato Triple	0 kg
		Cloruro de Potasio	0.37 kg
T4	NPK (230-40-190)	Urea	1.63 kg
		Superfosfato Triple	0 kg
		Cloruro de Potasio	0.37 kg
T5	Testigo	Sin aplicación	-

Fuente: Elaboración propia

El campo experimental tiene las siguientes características y medidas:

a. Características generales

Longitud del campo experimental	: 30.0 m
Ancho del campo experimental	: 16.3 m
Área Total del campo experimental	: 489.0 m ²

b. Características de los bloques

Número de bloques	: 4
Tratamientos por bloque	: 5
Largo de bloque	: 28.0 m
Ancho de bloque	: 14.3 m
Área total de bloque	: 89.6 m ²

c. Características de la parcela

Número de surcos	: 6
Distancia entre surcos	: 0.80 m
Distanciamiento entre plantas	: 0.20 m
Número de plantas por golpe	: 3
Número de golpes por surco	: 16
Número de plantas/unidad experimental	: 224
Número de plantas del área neta experimental	: 38 m
Área total de parcela	: 16.00 m ²

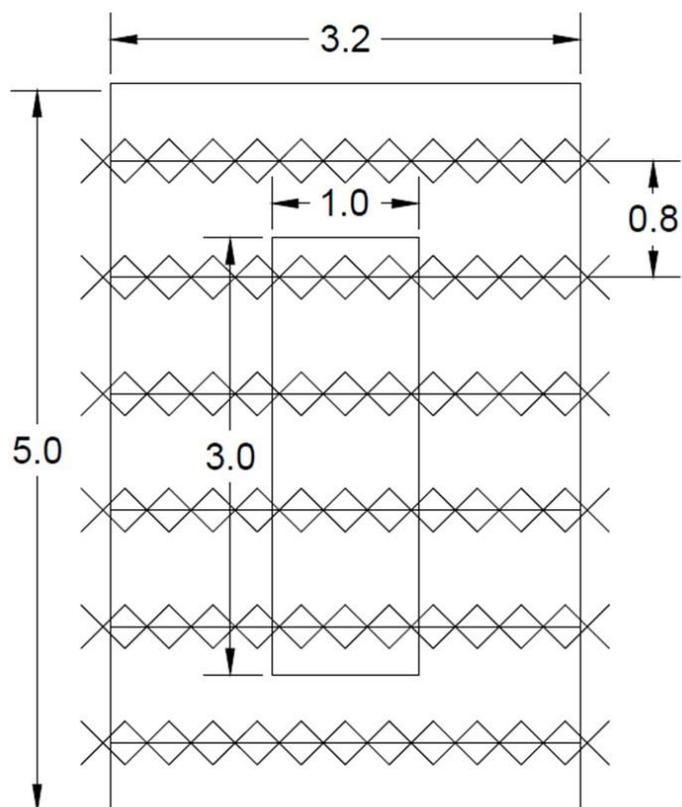


Figura 2. Croquis de parcela experimental

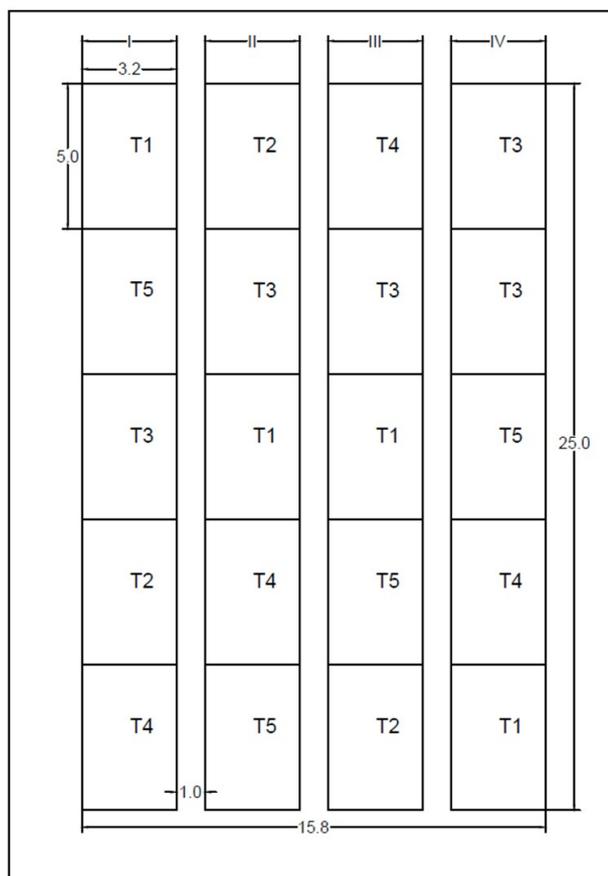


Figura 3. Croquis del campo experimental

3.6. Métodos, Técnicas e instrumentos

3.6.1. Métodos

En el proyecto de investigación actual, utilizamos diversas metodologías para evaluar los parámetros registrados. Durante el estudio, aplicamos técnicas y procedimientos específicos para obtener datos precisos y confiables. Realizamos mediciones y observaciones en campo, así como análisis de laboratorio para determinar las características del suelo.

a. Características del suelo

Se realizó el análisis de suelo antes de la siembra y después de la cosecha. Durante la realización del proyecto de investigación, se empleó el método del zig zag para tomar las muestras de suelo. Este método consiste en realizar una serie de perforaciones en forma de zig zag a lo largo del área de estudio. Para ello, se utilizó un barreno que se introdujo en el suelo a una profundidad de 20 cm, siguiendo un patrón preestablecido. Se realizaron perforaciones en puntos estratégicos y se extrajo una muestra representativa en cada uno de ellos. Este enfoque permitió cubrir de manera adecuada el área de interés y obtener una muestra representativa de la capa arable. Posteriormente, las muestras fueron recolectadas en recipientes adecuados y llevadas al laboratorio de Universidad Nacional Agraria de la Selva para su análisis, se determinaron los siguientes parámetros:

a. Análisis de suelo

- pH del suelo
- Materia orgánica del suelo
- Fósforo extractable en el suelo

b. Índice de rendimiento en el cultivo de maíz

b.1. Rendimiento de materia fresca

Para evaluar el rendimiento de materia fresca, se llevó a cabo la recolección de muestras cuando más del 50% de las plantas tenían la panoja completamente emergida. En esta etapa, se seleccionaron al azar cuatro plantas del área neta experimental. Cada planta fue cortada a una altura de 10 cm desde la superficie del suelo y se registró su peso utilizando una balanza electrónica. Todos los datos se registraron en kilogramos (kg), lo que

permitió obtener información precisa sobre la cantidad de materia fresca obtenida en cada muestra.

b. Rendimiento de materia seca

Para determinar el rendimiento de materia seca, se tomaron las plantas pesadas previamente y se colocaron en bolsas de papel. Posteriormente, cada planta fue triturada y se procedió a su secado en una estufa a una temperatura constante de 80 °C durante un período de cinco días, hasta alcanzar un peso seco constante. Esta metodología permitió obtener mediciones precisas del contenido de materia seca en cada muestra

c. Peso fresco y seco de la raíz

Para determinar el peso fresco y seco de la raíz, se seleccionaron aleatoriamente cuatro plantas de cada parcela experimental. Se procedió a retirar cuidadosamente las raíces de las plantas y se pesaron utilizando una balanza electrónica. Posteriormente, las raíces se transfirieron a bolsas de papel identificadas con su respectivo código. A continuación, se llevó a cabo el mismo procedimiento utilizado para obtener el peso seco de la materia, donde las raíces fueron secadas en una estufa a una temperatura constante de 80 °C hasta alcanzar un peso seco constante.

d. Altura de planta

Se determinó la altura promedio de las plantas a partir de la base del tallo hasta el nudo donde nace el pedúnculo de la panoja. Para ello, se seleccionaron aleatoriamente cuatro plantas de cada parcela experimental. La medición se realizó utilizando una regla de madera y los resultados se registraron en metros (m).

e. Diámetro del tallo

Se llevó a cabo la evaluación del diámetro del tallo en cuatro plantas seleccionadas al azar de cada parcela experimental. Utilizando una cinta métrica, se midió la longitud del perímetro en el punto medio del primer entrenudo visible desde la superficie del suelo. Los datos obtenidos se registraron en centímetros. Posteriormente, se aplicó la ecuación de longitud del perímetro para calcular el diámetro del tallo.

$$Lp = \pi d$$

d = diámetro del tallo

Lp = longitud del perímetro del tallo (cm)

π = 3.14

f. Índice SPAD en el cultivo de maíz chala

Para determinar el índice SPAD, se tomaron dos muestras al azar de cada parcela experimental. Para ello, se seleccionaron hojas sanas y representativas de la parte media de la planta. Para medir el contenido de clorofila en las hojas de maíz, se utilizó el clorofilómetro PhotosynQ, modelo MultispeQ V 2.0+CALI, así como el método estándar de determinación de clorofila mediante el espectrómetro. Este índice nos proporcionó una medida indirecta del contenido de clorofila en las hojas, lo cual es un indicador de la salud y estado nutricional de las plantas de maíz en cada tratamiento.

3.6.2. Técnicas

a. Técnicas bibliográficas

- Fichaje: Servirá para obtener información de los elementos bibliográficos de las fuentes de información para elaborar la literatura citada.
- Análisis de contenido: Permitirá registrar aspectos esenciales de los materiales leídos y ordenadas sistemáticamente servirán de valiosa fuente para elaborar el marco teórico.

b. Técnicas de campo

- Observación: Para registrar los datos sobre la variable dependiente y otras actividades.

3.6.3. Instrumentos

a. Instrumentos bibliográficos

- Fichas de localización: Donde se considerará el autor, año, título subtítulo si lo hubiera, edición, lugar de publicación, editorial, paginación, etc. Para elaborar la literatura citada según estilo de redacción IICA – CATIE.

- Fichas de investigación: Se utilizaron fichas de investigación con citas resumidas y textuales para desarrollar el marco teórico, siguiendo el estilo de redacción IICA - CATIE.

b. Instrumentos de campo

- Libreta de campo: Para registrar los datos sobre la variable dependiente y sobre la conducción del compostaje.

3.7. Validación y confiabilidad del instrumento

Los instrumentos utilizados para registrar datos cuantitativos son válidos y confiables debido a que para los medir los indicadores utilizados son las plantas de maíz correspondientes a cada tratamiento propuesto en el presente proyecto de investigación.

3.8. Procedimiento

El presente trabajo de investigación se dividió en dos etapas. En la primera etapa, se llevó a cabo el manejo agrícola en un campo tradicional con sistema de riego por gravedad. En la segunda etapa, se realizaron las actividades de laboratorio de suelos en la facultad de agronomía de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan.

3.8.1. Reconocimiento del terreno y toma de muestras

El terreno designado presenta una pendiente del 2.5%, lo que facilitó la gestión del cultivo sin efectos adversos. Para llevar a cabo el muestreo, se recorrió el terreno en un patrón de "zigzag", recopilando seis submuestras de suelo en cada punto. Cada submuestra se colocó en una bolsa, y se extrajo aproximadamente 1 kilogramo de tierra, que posteriormente se sometió a un proceso de secado, molienda y envasado para su análisis en el laboratorio de suelos.

3.8.2. Preparación del terreno

Antes de la siembra, se llevó a cabo la preparación del terreno, que incluyó la eliminación del exceso de maleza mediante la roturación. Posteriormente, se realizó un riego suplementario de machaco hasta que el suelo alcanzará su capacidad de campo. Luego, se procedió al arado del

terreno a una profundidad de 0.30 a 0.40 cm con la ayuda de un tractor. El nivelado y mullido del suelo se realizó utilizando una rastra de discos. El distanciamiento entre surcos fue de 0.80 cm.

3.8.3. Trazado del campo experimental

Para delimitar los tratamientos en el campo experimental según el croquis propuesto, se utilizaron cordeles, bolsas de cal y una wincha de 50 m. Se colocaron estacas en los puntos designados y posteriormente se extendieron los cordeles, rociando cal para delimitar claramente las unidades experimentales.

3.8.4. Incorporación de insumos

a. Aplicación de las enmiendas orgánicas.

El abonamiento se llevó a cabo de manera manual en las primeras horas de la mañana con la ayuda de estudiantes de pregrado. Se realizó la pesada de los insumos (biochar y compost) por surco, de acuerdo a los tratamientos en estudio. Posteriormente, se distribuyeron las bolsas con los insumos ya pesados por parcela. En el primer bloque, se procedió a la aplicación homogénea del insumo correspondiente a cada surco por parte de una persona, mientras que otras dos personas se encargaron de su incorporación utilizando un pico y una pala. Este procedimiento se repitió en los tres bloques restantes. Cabe destacar que la dosis e insumos, así como los momentos de aplicación, variaron según cada tratamiento, y esta actividad estuvo directamente relacionada con las variables en estudio en el presente proyecto y los resultados del análisis de suelo.

b. Aplicación del fertilizante

Se aplicó una dosis de fertilizante de 230 kg de nitrógeno, 40 kg de fósforo y 190 kg de potasio, utilizando urea (46% de N) y cloruro de potasio (60% de K). La cantidad de fertilizante fue calculada en base al análisis del suelo. La fertilización se realizó en un solo momento, cuando las plantas de maíz tenían en promedio cuatro hojas.

3.8.5. Siembra

Se utilizaron semillas de maíz del cultivar Marginal, provenientes de un proveedor certificado, que garantizó un buen desempeño en el campo, así como la ausencia de plagas y enfermedades que pudieran afectar los resultados del estudio. Antes de la siembra, se aplicó un riego al suelo. El método de siembra empleado fue el directo en campo definitivo, colocando tres semillas por golpe a una profundidad de 4 cm. El espaciamiento entre surcos fue de 0.80 cm y entre plantas de 0.20 cm.

3.8.6. Desahije

A los 30 días después de la siembra, se procedió a realizar la selección de las dos plantas más vigorosas de cada golpe. Para ello, se realizó un corte en la base del tallo de las plantas seleccionadas con la ayuda de un cúter, asegurándose de no dañar las raíces de las plantas adyacentes.

3.8.7. Riego

El maíz es altamente vulnerable a la falta de agua durante su desarrollo vegetativo, floración y llenado de grano. Por tanto, se implementó un adecuado suministro de agua a las plantas, evitando tanto la escasez como el exceso de riego, para garantizar un óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas.

3.8.8. Control de maleza

Se llevó a cabo el control de malezas mediante la aplicación manual de atrazina a una dosis de 2 L/ha, 30 días después de la siembra. Este procedimiento tuvo como finalidad eliminar las malezas presentes en el cultivo y prevenir la competencia por nutrientes.

3.8.9. Aporque

Se llevó a cabo el aporque cuando las plantas de maíz alcanzaron una altura de 0.40 a 0.60 cm. Esta práctica contribuyó a mejorar la estabilidad y el soporte de las plantas, brindándoles mayor resistencia frente a la acción del viento.

3.8.10. Control fitosanitario

Para el control de plagas, se aplicó el insecticida Cymbaz (Cipermetrina) a una dosis de 20 ml por 20 L de agua con el objetivo de combatir el cogollero (*Spodoptera Frugiperda*). Esta aplicación se realizó en dos momentos, a los 14 y 30 días después de la siembra.

En cuanto a las enfermedades, se detectaron síntomas de roya en el cultivo. Para su control, se utilizó el fungicida Opera (Pyraclostrobin + Epoxiconazole) a una dosis de 20 ml por 20 L de agua. Estas medidas fueron implementadas con el fin de proteger el cultivo de posibles daños ocasionados por plagas y enfermedades.

3.8.11. Cosecha

La cosecha se llevó a cabo de acuerdo al objetivo establecido para el maíz chala. En este caso, se cosechó cuando la capa negra aún no se había formado y los granos presentaban un estado lechoso con aproximadamente un 60% de humedad.

Las plantas fueron cortadas a una altura de 10 cm del suelo y se colocaron en bolsas de papel para facilitar su transporte y los análisis posteriores en el laboratorio. Esta metodología permitió recolectar las muestras de manera adecuada para su posterior estudio y evaluación.

3.8.12. Muestreo de suelo

En primer lugar, se delimitó el área neta correspondiente a cada tratamiento dentro del campo experimental. A continuación, se procedió a realizar el muestreo utilizando un barreno en la parte media del surco. La muestra obtenida se recolectó en una bolsa específica para su posterior análisis. Para asegurar la calidad de la muestra, esta fue tamizada utilizando un tamiz de 2 mm para eliminar cualquier impureza o material no deseado. Finalmente, la muestra tamizada se almacenó en un envase plástico adecuado, garantizando su preservación hasta el momento de su análisis de suelo.

3.8.13. Índice de área foliar

El índice de área foliar (IAF) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{IAF} = 0,75 \times ((\text{largo de la hoja} \times \text{ancho de la hoja} \times \text{número de hojas}) / \text{área del terreno}).$$

Para obtener el IAF, se debe multiplicar el largo de la hoja por el ancho de la hoja y luego por el número de hojas presentes en la planta. El resultado se divide entre el área del terreno para obtener el valor final del IAF.

3.8.14. Medición de SPAD

La medición del índice SPAD se realizó durante la etapa de llenado de grano, cuando el cultivo presentaba su máxima actividad fisiológica y niveles más elevados de clorofila en las hojas. Para obtener el índice SPAD, se utilizó un clorofilómetro específico, el PhotosynQ, modelo MultispeQ V 2.0+CALI, que permite medir de manera no destructiva la absorción de luz en las hojas y estimar la concentración de clorofila.

3.8.15. Análisis de pH

Para realizar el análisis de pH, se tomó una muestra de suelo de 20 gramos y se colocó en un recipiente de 50 ml. Luego, se añadieron 20 ml de agua destilada y se agitó la muestra con una varilla de vidrio durante 5 minutos. Después de dejar reposar la muestra durante una hora, se procedió a medir el pH utilizando un medidor previamente calibrado.

3.8.16. Medición de materia orgánica

Se tomó una muestra de suelo de un gramo y se colocó en un matraz de Erlenmeyer de 250 ml. Luego, se añadieron 10 ml de dicromato de potasio y se agregaron con precaución 10 ml de ácido sulfúrico puro. La muestra se agitó y, en caso de que adquiriera un color verde oscuro, se añadieron 5 ml adicionales de dicromato, registrando a qué muestra se le realizó esta adición. Finalmente, se dejó la muestra reposar durante 30 minutos.

Se alistó fioles de 100 ml más embudos para pasar la muestra y enrasar con agua destilada con cuidado con la piseta hasta el trazo indicado, se toma 20 ml de la solución y se traspasó a un matraz Erlenmeyer de 150 ml, en donde se adicionan 5 gotas de difenilamina sulfúrica y se homogeniza. Se

preparó la solución para la lectura patrón, se anotó el consumo sulfato ferroso para tenerlo como base en la determinación de materia orgánica; luego anotamos el consumo del sulfato para las demás muestras hasta que cambie a un color verde oscuro.

3.8.15. Medición de fósforo extractable de un suelo

Calibramos la balanza y pesamos 2 gramos de suelo. A continuación, colocamos el suelo en un matraz Erlenmeyer y agregamos una cucharada de carbón activado. Con una probeta, añadimos 20 ml de bicarbonato de sodio 0.5 M y agitamos la mezcla durante 30 minutos utilizando un agitador oscilador. Luego, transferimos el contenido a un embudo con papel filtro para realizar la filtración. El extracto se recogió en un matraz de 150 ml.

Para la curva patrón se toma 5 tubos de ensayos, en el primer tubo se adicionan 10 ml de agua destilada, en los tubos restantes se adiciono a todos 10 ml de molibdato II, lo que varió es la solución estándar acorde al grado de curva de calibración para 1 ppm se adicionan 0.5 ml, en 2 ppm es 1 ml, para 3 ppm es de 1.5 ml y en caso de 4 ppm fue de 2 ml; se dejó reposar por alrededor de 15 minutos.

El espectrofotómetro se calibró a 660 nm, y se realizó las lecturas de la curva patrón, en base a esto se realiza las lecturas de las muestras; se extrajo 3 ml de la solución filtrada en un tubo de ensayo más 10 ml de molibdato II, se esperó 15 ml para realizar la lectura de las muestras.

3.9. Análisis de datos

Se realizó una base de datos con los resultados de las evaluaciones del presente trabajo de investigación. Estos se expresaron en promedios los cuales son representados en tablas y gráficos de barras. Se aplicó el análisis de varianza (ANOVA), para determinar el nivel de significación entre bloques y tratamientos, en donde los parámetros que son iguales se simbolizan con no significativo (ns), mientras (*) representa que es significativo y (**) altamente significativo. Todos los análisis se realizan con RStudio, es un software que fue diseñado para hacer análisis estadísticos y gráficas.

Cuadro 3. Análisis de varianza para el DBCA

Fuente de Varianza (F.V)	Grados de libertad (GL)
Bloques o repeticiones	$(r-1) = 3$
Tratamientos	$(t-1) = 4$
Error experimental	$(r-1)(t-1) = 12$
Total	$(tr-1) = 19$

3.10. Consideraciones éticas

Durante la ejecución del presente proyecto de investigación se ha referenciado la autoría de toda la información que se ha obtenido de terceros, respetando el código de ética de la comunidad científica internacional.

IV. RESULTADOS

4.1. Contenido de clorofila

Según Sales et al. (1998), la medición de clorofila en las hojas es una alternativa viable para determinar las necesidades o requerimientos de fertilización, específicamente en relación al contenido de nitrógeno en las plantas.

En el análisis de varianza para contenido de clorofila (Tabla 8), indica diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 8. Análisis de varianza para contenido de clorofila

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F Value	Pr(>F)	
Bloque	3	8.6	2.87	0.164	0.91855	ns
Tratamiento	4	632.5	158.13	9.029	0.00132	**
Error exp.	12	210.2	17.51			
Total	19	851.3				
CV: 16.8%						

ns: no significativo

*: significativo

** : altamente significativo

Los tratamientos T3 y T2, que incluyeron biochar en su composición, presentaron los valores más altos, con 31,89 y 30,27, respectivamente. El tratamiento T4, que incluyó NPK, obtuvo un valor intermedio de 24,59, mientras que el tratamiento T1, que solo incluyó biochar, tuvo un valor significativamente más bajo de 19,19. El tratamiento T5, que fue el testigo, obtuvo el valor más bajo de 17,98. Estos resultados sugieren que el uso de biochar en combinación con otros nutrientes puede aumentar significativamente el contenido de clorofila en las hojas.

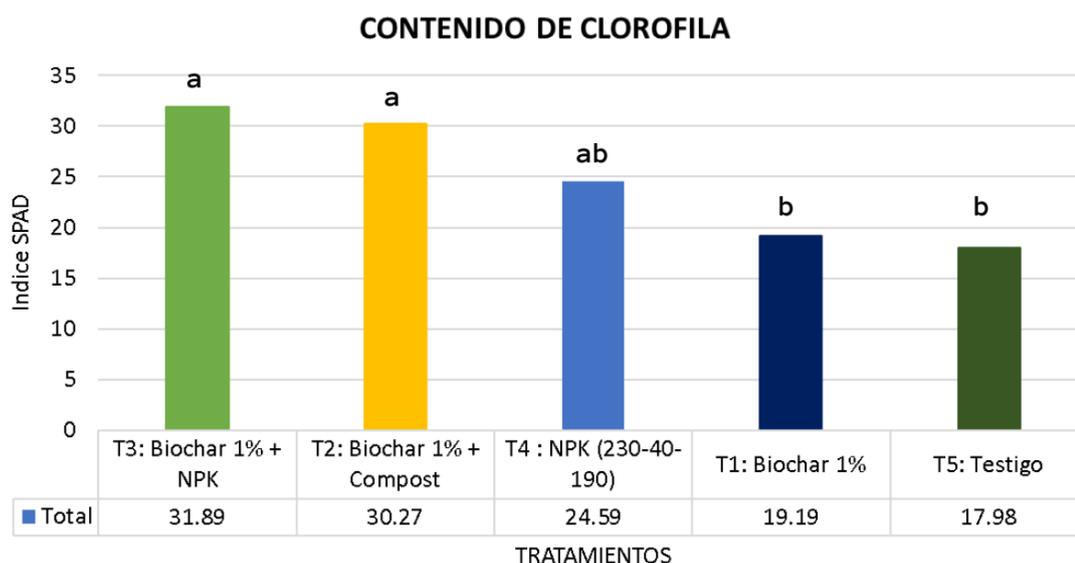


Figura 4. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre el contenido de clorofila en el cultivo de maíz chala. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.2. Indicadores de rendimiento

4.2.1. Biomasa fresca

En el análisis de varianza en la tabla 9 se describe que hay diferencias significativas entre tratamientos en el indicador de biomasa aérea fresca, el coeficiente de variabilidad es de 11.27%.

Tabla 9. Análisis de varianza de biomasa fresca

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F Value	Pr(>F)	
Bloque	3	2300	767	0.437	0.73	ns
Tratamiento	4	146363	36591	20.869	<u>2.46E-05</u>	**
Error exp.	12	21040	1753			
Total	19	169703				
CV: 11.2%						

ns: no significativo

*: significativo

** : altamente significativo

La prueba de Tukey indica que hay diferencias significativas en la biomasa fresca entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T3 (Biochar 1% + NPK) tuvo el mayor promedio de biomasa fresca con 510.25 gr, seguido por el tratamiento T4 (NPK 230-40-190) con un promedio de 388.25 gr. El tratamiento T2 (Biochar 1% + compost) y T1 (Biochar 1%) tuvieron promedios

similares con 375.25 gr y 338.25 gr respectivamente. El tratamiento T5 (Testigo) tuvo el menor promedio de biomasa fresca con 245.25 gr.

Estos resultados sugieren que la aplicación de Biochar 1% + NPK puede ser beneficioso para aumentar la producción de biomasa fresca en maíz. La aplicación de NPK solo también mostró un aumento significativo en la biomasa fresca en comparación con el control. La aplicación de Biochar 1% solo o en combinación con compost no mostró una mejora significativa en la biomasa fresca.

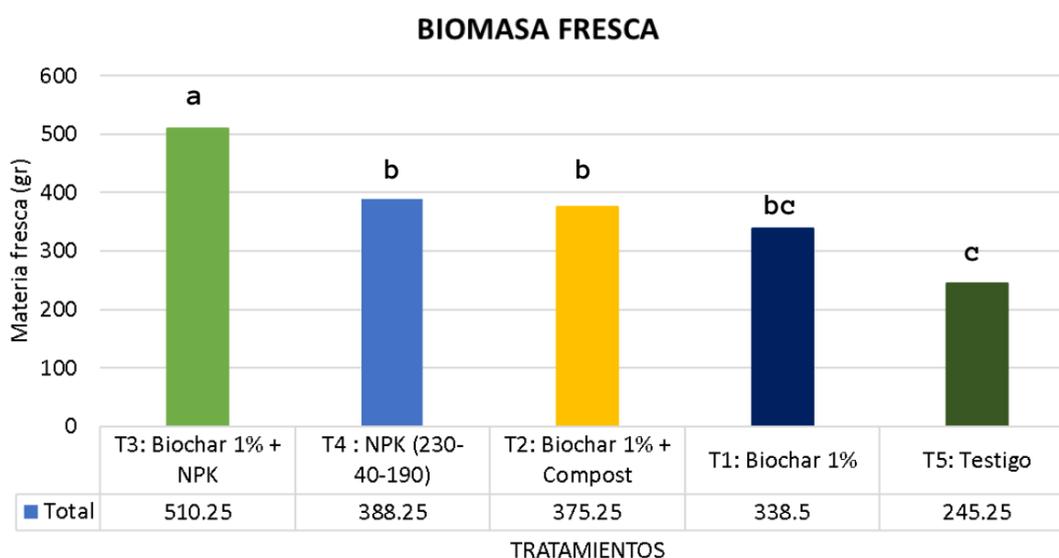


Figura 5. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre la biomasa fresca en el cultivo de maíz chala. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.2.2. Biomasa seca

Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación múltiple de Tukey al nivel de significancia del 95%. Los resultados muestran que hubo una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en la producción de biomasa seca entre los tratamientos evaluados, el coeficiente de variabilidad es de 14.92%.

Tabla 10. Análisis de varianza de biomasa seca

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F Value	Pr(>F)	
Bloque	3	74	25	0.158	0.923	ns
Tratamiento	4	15144	3786	24.172	1.15E-05	***
Error exp.	12	1880	157			
Total	19	17098				
CV: 14.9%						

ns: no significativo

*: significativo

**: altamente significativo

El tratamiento T3 (Biochar 1% + NPK) presentó la mayor biomasa seca con una media de 130,01 gr, lo que fue significativamente mayor que el tratamiento T4 (NPK 230-40-190) con una media de 100,59 gr, el cual a su vez no fue significativamente mayor que los tratamientos T2 (Biochar 1% + compost) y T1 (Biochar 1%), que presentaron medias de 68.22 gr y 63.40 gr, respectivamente. El tratamiento T5 (Testigo) presentó la menor biomasa seca con una media de 57.16 gr.

Los resultados muestran que la mejora de Biochar 1% + NPK tuvo un efecto positivo en la biomasa seca de las plantas, en comparación con los otros tratamientos. Asimismo, la aplicación de NPK (230-40-190) también tuvo un efecto significativo en la biomasa seca, aunque menor que el tratamiento Biochar 1% + NPK. La adición de compost o Biochar 1% por sí solo no resultó en una mejora significativa en la seca biomasa en comparación con el tratamiento de control (Testigo).

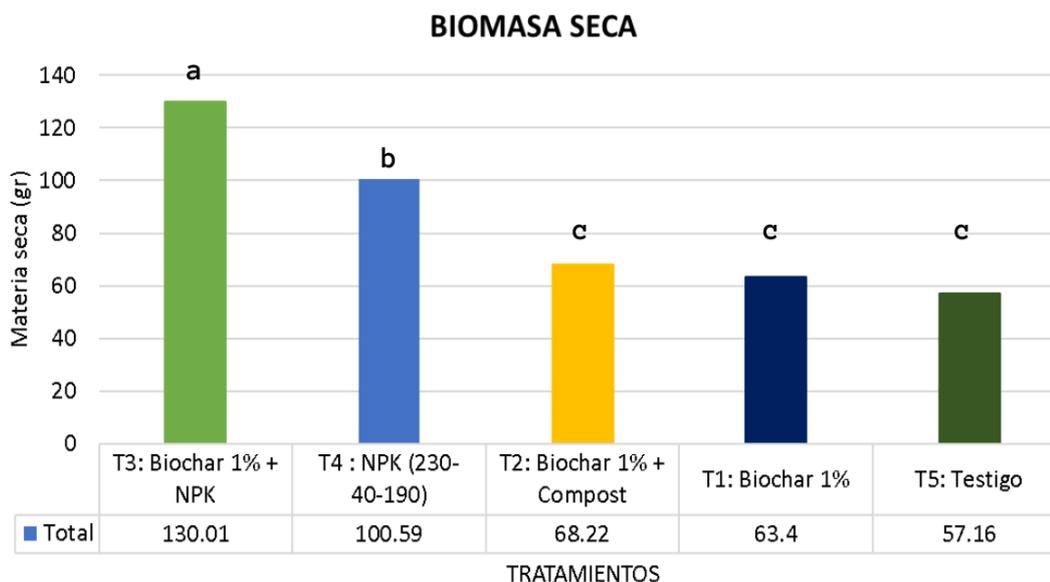


Figura 6. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre la biomasa seca en el cultivo de maíz chala. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.2.3. Biomasa radicular fresca

El ANOVA realizado en la tabla 11, nos muestra que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos, en el indicador de biomasa radicular fresca, el coeficiente de variabilidad es de 18.00%.

Tabla 11. Análisis de varianza de biomasa radicular fresca

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F Value	Pr(>F)	
Bloque	3	74	25	0.158	0.923	ns
Tratamiento	4	15144	3786	24.172	1.15E-05	***
Error exp.	12	1880	157			
Total	19	17098				
CV: 14.9%						

ns: no significativo

*: significativo

**: altamente significativo

El análisis de Tukey para la biomasa radicular fresca distinguió diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$). El tratamiento que combinó Biochar 1% + NPK presentó el valor más alto con 213,30 gr, seguido por el tratamiento con Biochar 1% + compost con un valor medio de 98,58 gr, y el tratamiento con NPK (230-40-190) con un valor medio de 76,90 gr. El tratamiento con Biochar 1% presentó un valor medio de 45,00 gr, mientras

que el tratamiento control (Testigo) presentó el valor más bajo con 30,47 gr. Se descubrió una clara diferencia entre el tratamiento con Biochar 1% + NPK y el resto de los tratamientos, lo que sugiere que la mejora de NPK en combinación con biochar puede ser efectiva para mejorar la biomasa radicular fresca en comparación con los otros tratamientos.

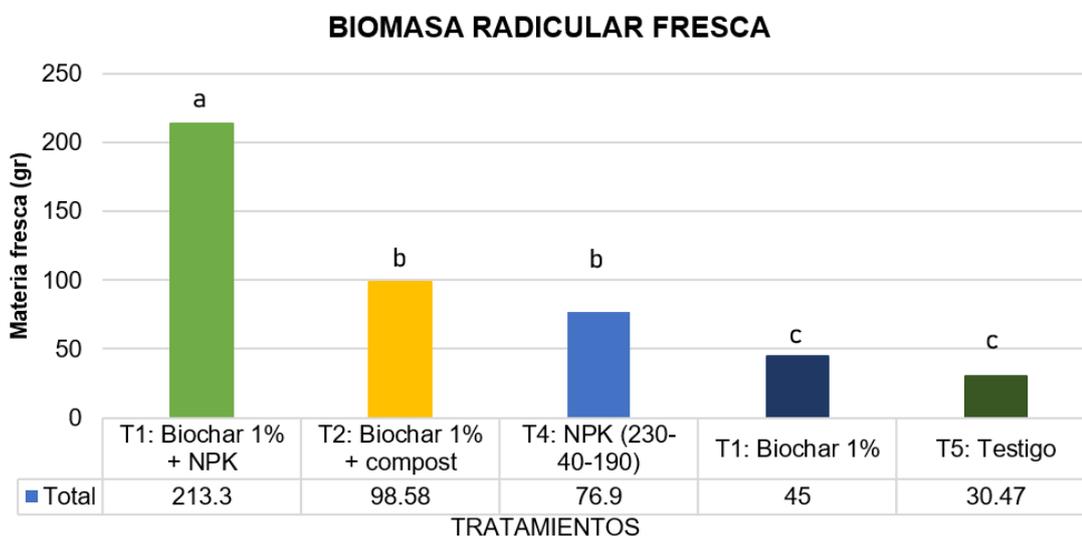


Figura 7. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre la biomasa radicular fresca en el cultivo de maíz chala. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.2.4. Biomasa radicular seca

En el análisis de varianza se observa en la tabla 12, diferencias entre los tratamientos, el indicador de biomasa radicular seca es concordante con el peso fresco.

Tabla 12. Análisis de varianza de biomasa radicular seca

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F Value	Pr(>F)	
Bloque	3	574	191.3	1.476	0.271	ns
Tratamiento	4	8208	2052	15.834	9.87E-05	***
Error exp.	12	1555	129.6			
Total	19	10337				
CV: 44.9%						

ns: no significativo

*: significativo

**: altamente significativo

En el análisis de varianza se observa en la tabla 12, diferencias entre los tratamientos ($p < 0.05$), el indicador de biomasa radicular seca es concordante con el peso fresco; el coeficiente de variabilidad es de 44.09%.

Los resultados de la biomasa radicular seca indican que el tratamiento T3 Biochar 1% + NPK produjo significativamente más biomasa radicular seca que todos los demás tratamientos, con una media de 64,07 gr. Por otro lado, el tratamiento T5 Testigo produjo significativamente la menor cantidad de biomasa radicular seca, con una media de 5,41 gr. Los tratamientos T2 Biochar 1% + compost, T4 NPK (230-40-190) y T1 Biochar 1% también difirieron significativamente de T5 Testigo, pero no de manera significativa entre ellos.

Estos resultados sugieren que el uso de Biochar 1% + NPK puede ser una estrategia efectiva para mejorar la producción de biomasa radicular seca en comparación con el uso de compost o fertilizantes químicos por sí solo. Además, el uso de Biochar 1% solo y sin NPK no tuvo un efecto significativo en la producción de biomasa radicular seca en comparación con el testigo.

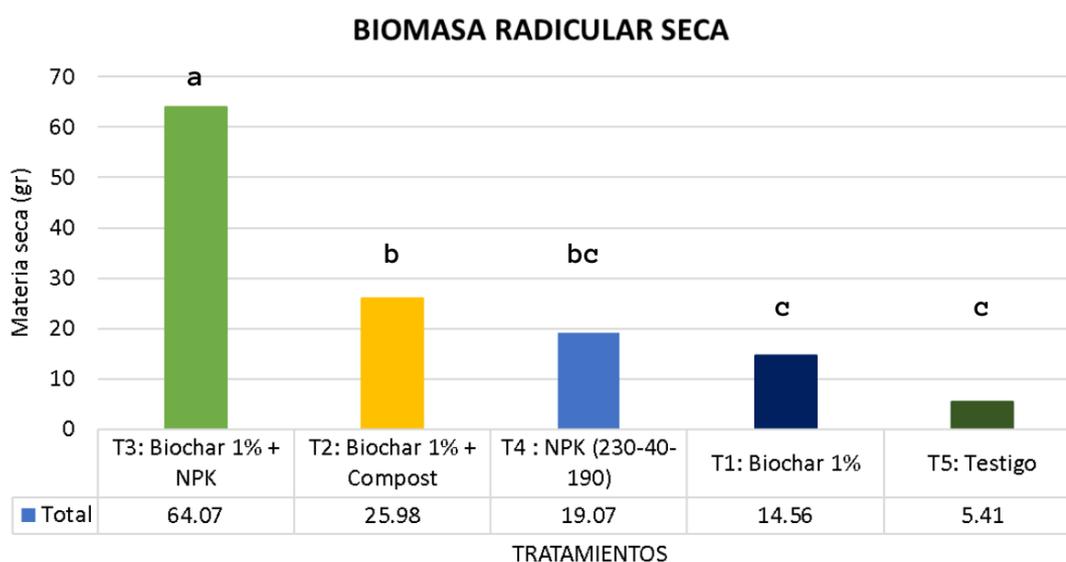


Figura 8. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre la biomasa radicular seca en el cultivo de maíz chala. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.2.5. Área foliar

En la tabla 13 del análisis de varianza se observa un alto nivel de significancia entre tratamientos, pero no existe diferencia estadística entre los bloques. El coeficiente de variabilidad es de 16.28%, el cual es una fuente de error aceptable en el experimento y el promedio general de índice de área foliar es de 6.22.

Tabla 13. Análisis de varianza del área foliar

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F Value	Pr(>F)	
Bloque	3	1.31	0.436	0.399	0.75592	ns
Tratamiento	4	37.13	9.283	8.497	0.00172	**
Error exp.	12	13.11	1.092			
Total	19	51.55				
CV: 16.2%						

ns: no significativo

*: significativo

**: altamente significativo

Los resultados del análisis de Tukey indicaron que existen diferencias significativas en el índice de área foliar entre los tratamientos evaluados ($p < 0.05$). El tratamiento T3, que consistió en la aplicación de Biochar 1% + NPK, mostró el mayor índice de área foliar con una media de 8.62, seguido del tratamiento T4, que recibió la aplicación de NPK (230-40-190) con una media de 7.12. Por otro lado, los tratamientos T1 y T5, que fueron el Testigo y Biochar 1% respectivamente, presentaron los índices de área foliar más bajos con medias de 5.09 y 4.95 respectivamente.

Estos resultados sugieren que la aplicación de Biochar en combinación con NPK puede ser una práctica efectiva para mejorar el índice de área foliar del cultivo evaluado. Por otro lado, la aplicación de Biochar solo no mostró mejoras significativas en el índice de área foliar.

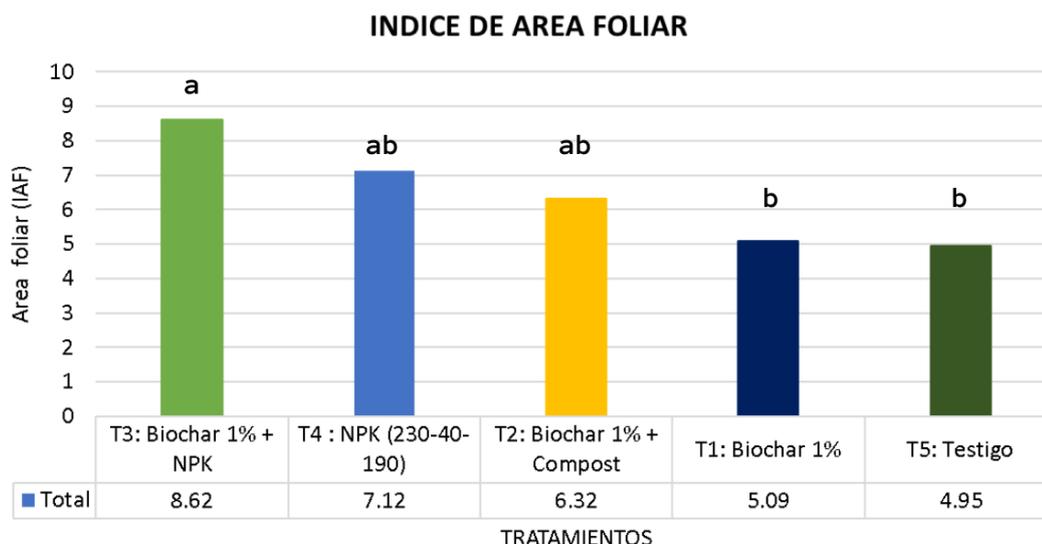


Figura 9. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre el índice de área foliar en el cultivo de maíz chala. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

4.2.6. Altura de planta

El análisis de varianza (ANOVA) se muestra en la tabla 14. Según el ANOVA, no hubo diferencias significativas entre bloques, pero sí entre tratamientos. La altura varía entre 121.65 cm a 185.35 cm, con un promedio de 154.46 cm.

Tabla 14. Análisis de varianza de altura de planta

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F Value	Pr(>F)	
Bloque	3	51	17.1	0.268	0.847	ns
Tratamiento	4	9889	2472.1	38.803	0.000000897	**
Error exp.	12	765	63.7			
Total	19	10705				
CV: 5.16%						

ns: no significativo

*: significativo

** : altamente significativo

Se realizó un análisis estadístico utilizando la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para comparar las medias. Los resultados mostraron que el tratamiento T3 (biochar 1% + NPK) obtuvo una altura significativamente mayor con 185.35 cm, seguido de los tratamientos T4 (NPK) y T2 (biochar 1% + compost) que no presentaron diferencias significativas entre sí con 166.68 cm y 160.98 cm respectivamente. En último lugar, los tratamientos T1 (biochar 1%) y el testigo mostraron promedios iguales con 138.70 cm y 121.63 cm. Estos resultados

indican que la aplicación de biochar 1% en combinación con NPK puede ser una estrategia efectiva para mejorar la altura de las plantas.

Esto puede deberse al efecto propio del biochar al mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, lo cual contribuye como un efecto indirecto en el mejor desarrollo de la planta y el correcto manejo agronómico en el experimento.

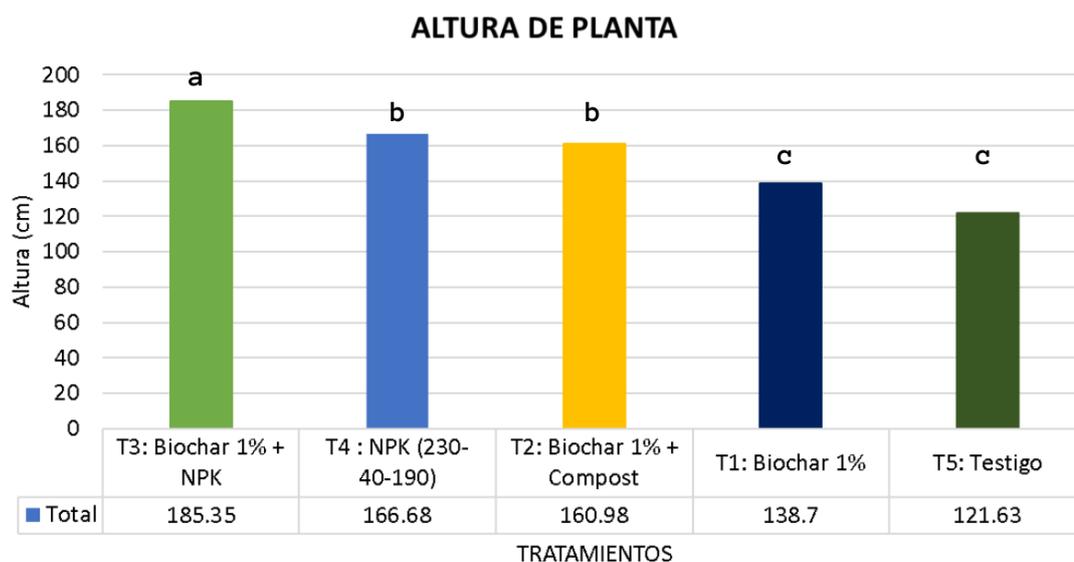


Figura 10. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre la altura de la planta en el cultivo de maíz chala. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

4.2.7. Diámetro de tallo

Según los resultados presentados, se puede observar que hay diferencias significativas en el diámetro de tallo entre los tratamientos aplicados, lo cual se evidencia por el valor del estadístico F (4.949) y el valor de probabilidad asociado (0.0137), el coeficiente de variabilidad es de 9.15%.

Tabla 15. Análisis de varianza de diámetro de tallo

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F Value	Pr(>F)	
Bloque	3	0.0247	0.00823	0.367	0.7782	ns
Tratamiento	4	0.4438	0.11094	4.949	0.0137	*
Error exp.	12	0.269	0.02242			
Total	19	0.7375				
CV: 9.15%						

ns: no significativo

*: significativo

** : altamente significativo

Utilizando la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p < 0.05$), se determinó que el tratamiento T3 (biochar 1% + NPK) mostró el diámetro de tallo más alto con 1.92 cm, el cual difirió significativamente de los tratamientos T1 (biochar 1%) y T5 (testigo) con 1.52 cm y 1.51 cm respectivamente, los cuales presentaron los diámetros de tallo más bajos. Por otro lado, los tratamientos T4 (NPK) y T2 (biochar 1% + compost) tuvieron valores intermedios con 1.65 cm y 1.58 cm respectivamente, y no mostraron diferencias significativas entre sí. Estos resultados indican que la aplicación de biochar 1% en combinación con NPK puede promover un mayor diámetro de tallo en comparación con los otros tratamientos evaluados.

La diferencia en el diámetro del tallo entre los tratamientos podría deberse a la interacción entre el biochar, el compost y los nutrientes aplicados. El biochar y el compost pueden mejorar la estructura del suelo y la retención de agua, lo que a su vez podría afectar la tasa de crecimiento del tallo. Los nutrientes, por otro lado, son necesarios para el correcto desarrollo de la planta y podrían afectar el tamaño del tallo. Es importante destacar que, aunque se encontraron diferencias significativas en el diámetro del tallo entre los tratamientos, estas diferencias no pueden ser relevantes desde el punto de vista práctico.

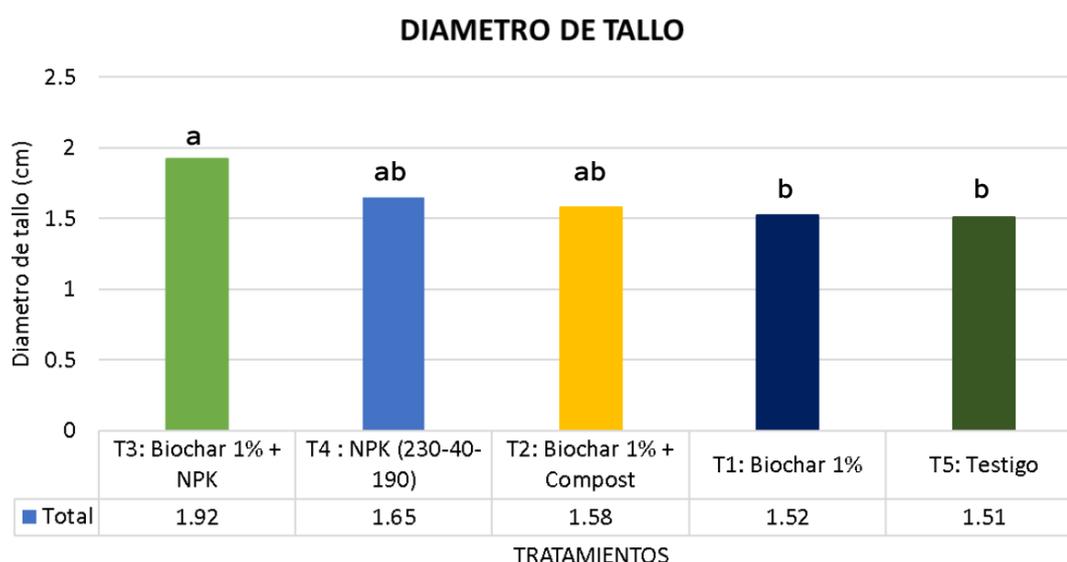


Figura 11. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre el diámetro de tallo en el cultivo de maíz chala. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

4.3. Indicadores de calidad del suelo

4.3.1. Medición de pH

Acorde al análisis estadístico de la tabla 16, el pH resulta ser significativo, entre los tratamientos. Según la prueba de Tukey encontramos cuatro grupos diferentes estadísticamente entre sí.

Tabla 16. Análisis de varianza de pH

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F Value	Pr(>F)	
Bloque	3	0.0042	0.0014	0.227	0.876	ns
Tratamiento	4	0.8299	0.20748	33.669	1.95E-06	**
Error exp.	12	0.0739	0.00616			
Total	19	0.908				
CV: 26.9%						

ns: no significativo

*: significativo

** : altamente significativo

Los resultados obtenidos de la medición del pH del suelo en los diferentes tratamientos evaluados fueron los siguientes: T3 (Biochar 1% + NPK) con un valor de 7.19 se catalogó como el tratamiento con mayor pH del suelo, seguido de T2 (Biochar 1% + compost) con 7.09. Por otro lado, T5 (Testigo) se encontró con el valor más bajo de pH en el suelo con 6.87. La adición de biochar en los tratamientos T3 , T2 y T1, resultó en un aumento del pH del suelo en comparación con los tratamientos que no recibieron biochar. Este incremento en el pH puede explicarse por la capacidad del biochar para actuar como agente neutralizador de la acidez del suelo.

El biochar, al ser incorporado al suelo, puede alterar la composición química y la capacidad de intercambio iónico del suelo. Esto puede conducir a una reducción en la acidez del suelo, lo que a su vez se refleja en un aumento del pH. Además, el biochar puede contener compuestos alcalinos que contribuyen a elevar el pH del suelo.

En el caso de los tratamientos que incluyeron biochar junto con NPK o compost, es posible que la interacción entre el biochar y estos materiales haya potenciado aún más el efecto de aumento del pH. El NPK y el compost pueden contener elementos alcalinos o básicos que, combinados con el biochar, contribuyen a elevar el pH del suelo de manera más pronunciada.

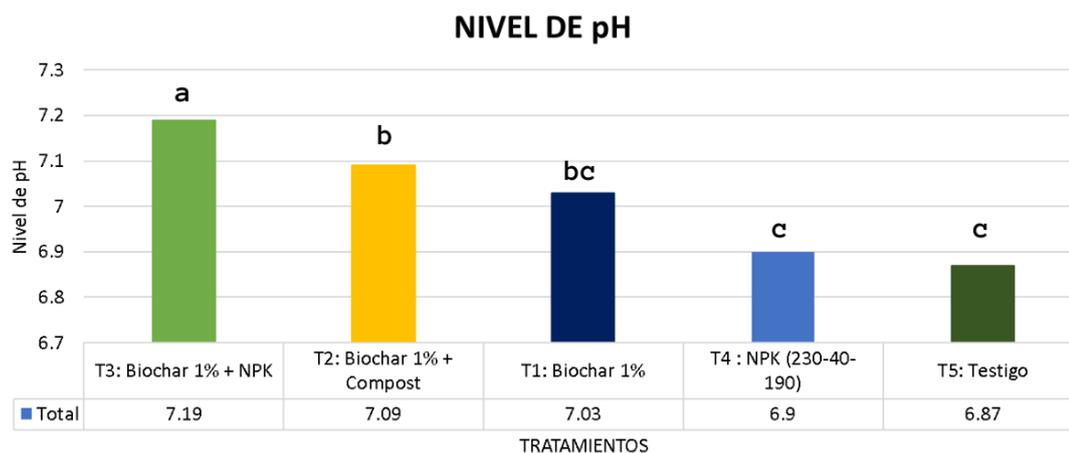


Figura 12. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre el nivel de pH en el suelo. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.3.2. Contenido de materia orgánica

Al efectuar el análisis de varianza de la tabla 17, el porcentaje de materia orgánica es significativo entre los tratamientos. En la prueba estadística de Tukey demostró dos grupos distintos entre sí.

Tabla 17. Análisis de varianza de %MO

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F Value	Pr(>F)	
Bloque	3	0.715	0.2384	2.306	0.129	
Tratamiento	4	6.818	1.7045	16.485	8.09E-05	**
Error exp.	12	1.241	0.1034			
Total	19	8.774				
CV: 21.9%						

ns: no significativo

*: significativo

** : altamente significativo

La materia orgánica del suelo se vio significativamente afectada por los diferentes tratamientos. El tratamiento T2 que consistió en la aplicación de biocarbón al 1% junto con compost, presentó el mayor contenido de materia orgánica con un valor de 2,29%. Los tratamientos T1 y T3 que también incluyeron la aplicación de biochar al 1%, aparecieron valores de 1.77% y 1.65% respectivamente, los cuales no fueron significativamente diferentes entre sí pero sí fueron mayores que los valores obtenidos en los tratamientos T4 y T5 que no incluyeron la aplicación de biochar. El tratamiento T5 presentó

el menor contenido de materia orgánica con un valor de 0,86 %, mientras que el tratamiento T4 presentó un valor ligeramente mayor con 0,74 %.

El biochar y el compost son materiales orgánicos que se añaden al suelo con el propósito de mejorar su calidad y fertilidad. Estos materiales contienen una gran cantidad de carbono orgánico, lo que contribuye al aumento de la materia orgánica en el suelo. La materia orgánica desempeña un papel crucial en la estructura y la salud del suelo, ya que mejora su capacidad de retención de agua, promueve la actividad microbiana y favorece la formación de agregados estables.

Por otro lado, los fertilizantes químicos, como el NPK, están compuestos principalmente por nutrientes minerales esenciales para el crecimiento de las plantas. Aunque son importantes para el suministro de nutrientes, estos fertilizantes no aportan materia orgánica al suelo. Por lo tanto, su aplicación puede tener un efecto limitado en el contenido de materia orgánica del suelo.

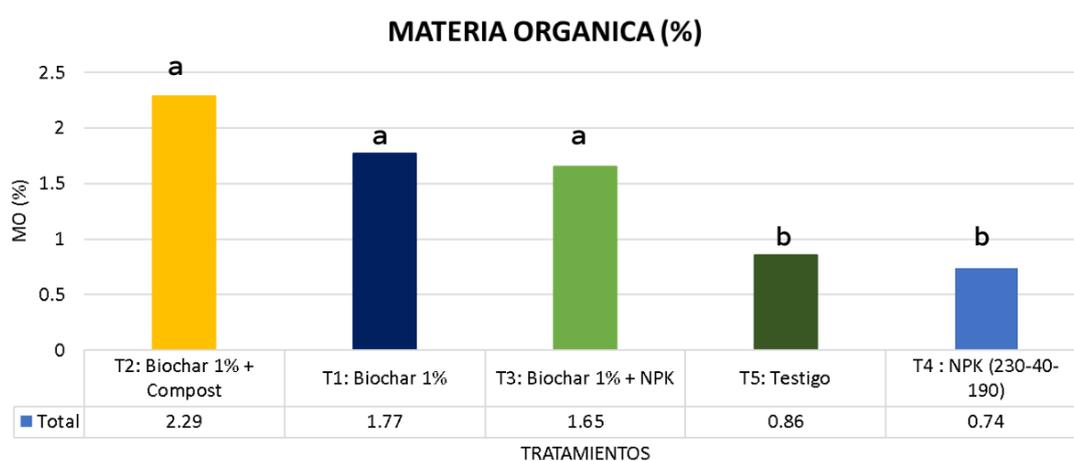


Figura 13. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre el nivel de materia orgánica en el suelo. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.3.3. Fósforo extractable en el suelo

En la tabla de análisis de varianza el contenido de fósforo en el suelo no se observa existe diferencia entre los tratamientos. El coeficiente de variabilidad 15.87% estando dentro de lo permitido.

Tabla 18. Análisis de varianza del fósforo extractable

FUENTE DE VARIACIÓN	GL	SC	CM	F Value	Pr(>F)	
Bloque	3	155.5	51.85	1.365	0.3004	ns
Tratamiento	4	434.9	118.72	2.862	0.0706	*
Error exp.	12	455.8	37.99			
Total	19	1,046.2				
CV: 15.87%						

ns: no significativo

*: significativo

**: altamente significativo

En relación al contenido de fósforo extractable en el suelo, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento Biochar 1% + compost presentó el valor más alto de fósforo extractable, con 43.86 ppm, seguido por el tratamiento Biochar 1% con 42.52 ppm. El tratamiento Biochar 1% + NPK mostró un valor de 41.14 ppm, mientras que el tratamiento NPK (230-40-190) y el testigo sin tratamiento tuvieron valores más bajos, con 34.59 ppm y 32.01 ppm, respectivamente. Los resultados de este estudio sugieren que la incorporación de biochar, ya sea de forma individual o en conjunto con compost, podría aumentar la disponibilidad de fósforo en el suelo. Sin embargo, es importante destacar que en esta investigación no se observaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos.

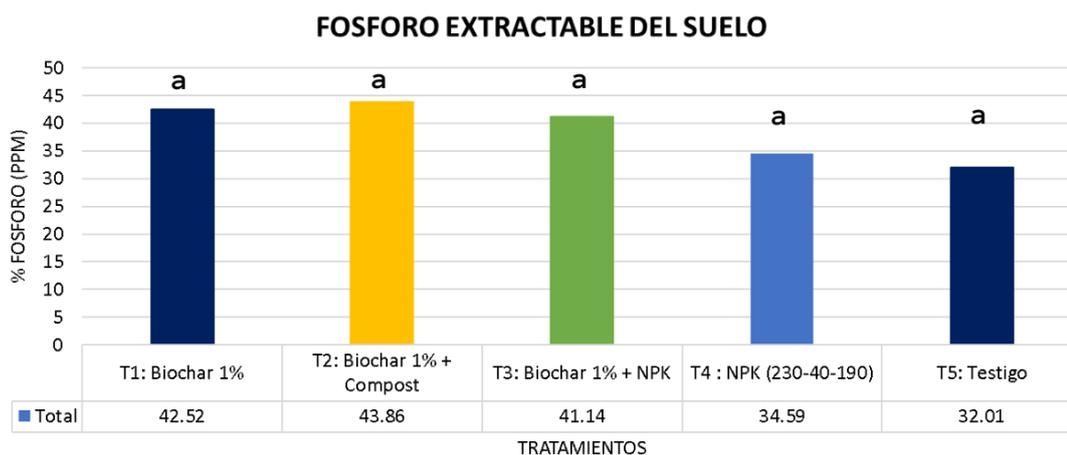


Figura 14. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 Y T5) sobre el nivel de fósforo extractable en el suelo. Las barras con letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En relación al contenido de fósforo extractable en el suelo, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento Biochar 1% + compost presentó el valor más alto de fósforo extractable, con 43.86 ppm, seguido por el tratamiento Biochar 1% con 42.52 ppm. El tratamiento Biochar 1% + NPK mostró un valor de 41.14 ppm, mientras que el tratamiento NPK (230-40-190) y el testigo sin tratamiento tuvieron valores más bajos, con 34.59 ppm y 32.01 ppm, respectivamente. Estos resultados indican que la adición de biochar, ya sea solo o en combinación con compost, puede incrementar la disponibilidad de fósforo en el suelo, lo cual puede tener un impacto positivo en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. La falta de diferencias significativas en los niveles de fósforo en el suelo entre los tratamientos podría deberse a una combinación de factores. Los niveles iniciales de fósforo en el suelo pueden haber sido adecuados, y la interacción compleja de los insumos agrícolas con las características del suelo, junto con el tiempo requerido para cambios significativos, podría explicar los resultados similares. Además, la dosis y el método de aplicación de los insumos, así como la variabilidad natural del suelo, también pueden haber contribuido a esta similitud en los niveles de fósforo. Cada suelo es único y puede mostrar respuestas variadas a los insumos agrícolas.

V. DISCUSIÓN

5.1. Indicadores de rendimiento

A. Contenido de clorofila

En la presente investigación, se evaluó el índice SPAD como indicador del contenido de clorofila en las hojas de maíz chala. Los resultados obtenidos revelaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. En concordancia con los hallazgos de otros estudios (Puentes et al., 2021; Moreno et al., 2020), se demostró que la aplicación de biochar en combinación con otros nutrientes, como en los tratamientos T3 y T2, resultó en valores más altos de SPAD. Estos resultados respaldan la capacidad del biochar para mejorar la capacidad fotosintética de las plantas y estimular la producción de clorofila.

Por otro lado, el tratamiento T4, que agregó la aplicación de NPK, también mostró un incremento significativo en el índice SPAD en comparación con el tratamiento T1, que solo recibió biochar. Estos resultados son consistentes con las investigaciones de Li et al. (2023), quienes encontraron que la adición de fertilizantes químicos puede promover la síntesis de clorofila en las plantas de maíz.

Es importante destacar que el índice SPAD es un indicador fiable y ampliamente utilizado para evaluar el estado nutricional de las plantas y la eficiencia de la fotosíntesis (Cunha et al., 2015).

B. Biomasa fresca y seca

En cuanto a la biomasa fresca aérea, se observó que el tratamiento T3 (biochar 1% + NPK) obtuvo los mejores resultados con un valor de 510.25 g. Estos hallazgos coinciden con la investigación realizada por Scholz et al. (2014), en donde destaca que el uso de biochar puede mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo, lo cual podría explicar los resultados positivos obtenidos.

Al comparar los promedios, se observó que el tratamiento T4 (NPK) con 388.25 g presentó una biomasa fresca aérea superior en comparación con el tratamiento T1 (biochar 1%) que registró 338.25 g.

En relación a la biomasa seca aérea, los resultados obtenidos fueron similares a los encontrados por Sánchez et al. (2020) en un estudio sobre el cultivo de maíz. El tratamiento T4 (NPK) mostró un valor de 100.58 g de biomasa seca, mientras que el tratamiento T1 (biochar 1%) registró 63.39 g. Sin embargo, el tratamiento T3 (biochar 1% + NPK) obtuvo el mejor rendimiento con 130.01 g. Estos resultados respaldan la idea de que la combinación de fertilizante y biochar puede tener un efecto positivo en el rendimiento del cultivo.

C. Biomasa radicular fresca y seca

Los resultados indican que el tratamiento T3 (biochar 1% + NPK) se destaca como altamente superior en comparación con los demás tratamientos, seguido por el tratamiento T2 (biochar 1% + compost). Estos hallazgos coinciden con la investigación realizada por Scholz et al. (2014), quienes mencionaron que el biochar, debido a su estructura porosa y gran superficie, puede retener agua disponible para las plantas y mejorar la capacidad de retención de agua del suelo en general. Asimismo, el biochar tiene el potencial de mejorar las funciones del suelo al reducir la pérdida de nutrientes, aumentar la biodisponibilidad de los nutrientes y disminuir la lixiviación de nutrientes.

En relación al peso de las raíces, es importante considerar el papel del nitrógeno en el desarrollo radicular. A pesar de la adición de biochar en el suelo en el tratamiento T1 (biochar 1%), se observa un bajo peso en las raíces. Esto podría estar influenciado por varios factores, como la interacción compleja entre el biochar y los nutrientes presentes en el suelo, así como las características específicas del genotipo de las plantas utilizadas en el estudio.

Knoblauch et al. (2021) encontraron que la aplicación de biochar en combinación con fertilizante nitrogenado mejoró significativamente el

crecimiento de las plantas y la retención de nutrientes en el suelo. Por otro lado, Alkharabsheh et al. (2021) destacaron que el biochar puede aumentar la capacidad de retención de agua del suelo y mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

D. Índice de área foliar

Se evaluó el efecto de diferentes tratamientos en el índice de área foliar del cultivo, observando que el tratamiento T3 (biochar 1% + NPK) mostró el índice de área foliar más alto. Estos hallazgos respaldan los resultados de Li et al. (2023), quienes encontraron que la combinación de biochar y fertilizante nitrogenado mejora la retención y utilización de nitrógeno en el suelo, lo cual favorece el desarrollo foliar. Por otro lado, los tratamientos T1 (Testigo) y T5 (Biochar 1%) presentaron los índices de área foliar más bajos, lo cual concuerda con la investigación de Johnson et al. (2018), que demostró que la falta de fertilización y la aplicación de biochar de forma aislada tienen un impacto limitado en el crecimiento foliar. Estos resultados resaltan la importancia de combinar el biochar con nutrientes para mejorar el índice de área foliar en los cultivos evaluados.

E. Altura y diámetro de planta

La altura de las plantas mostró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T3 (biochar 1% + NPK) registró la mayor altura de planta, con 184.35 cm, respaldando los hallazgos de Iglesias (2018) en su estudio sobre el rendimiento del maíz, donde los tratamientos con biochar obtenido mediante pirólisis rápida y fertilización mostraron los mejores resultados en términos de altura, con valores entre 2.31 y 2.67 m.

Por otro lado, los tratamientos T1 (biochar 1%) y T5 (testigo) exhibieron alturas de planta más bajas, lo cual concuerda con la investigación de Scholz et al. (2014), quienes mencionaron que el biochar no es un fertilizante en sí mismo, sino un acondicionador del suelo que mejora la biodisponibilidad de los nutrientes con el tiempo.

En cuanto al diámetro de tallo, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento T3 (biochar 1% + fertilizante) mostró el

diámetro de tallo más alto, con 1.91 cm, coincidiendo con los resultados encontrados por Abad et al. (2018), donde el biochar y la fertilización mostraron los mejores resultados en términos de diámetro de tallo, con valores entre 1.70 y 1.91 cm. En contraste, los tratamientos T1 (biochar 1%) y T5 (testigo) presentaron el menor diámetro de tallo, lo cual se fundamenta en el estudio de Arzola et al. (1981), donde se destaca que dosis altas de nitrógeno tienen un efecto positivo en el diámetro del tallo.

5.2. Indicadores en el suelo

A. pH en el suelo

En el análisis de pH en el suelo, se observó un incremento moderadamente básico en el tratamiento T3 (biochar 1% + NPK) con un pH de 7.40, mientras que el tratamiento T4 (NPK) presentó el pH más bajo, con un valor de 6.80. Estos resultados coinciden con la investigación realizada por Chancasanampa (2020), quien encontró que la aplicación de biochar con un pH alcalino de 7.57 a una tasa de 20 t/ha condujo a un aumento en el pH del suelo.

Es importante destacar que la mayoría de los biochar tienen un pH que varía de neutro a básico, lo que les confiere propiedades de encalado en suelos ácidos y puede contribuir a mejorar la productividad de las plantas. Sin embargo, en suelos con un pH neutro o básico, el uso de biochar no necesariamente resulta en un aumento significativo de la productividad, como señalan Scholz et al. (2014).

B. Medición de materia orgánica

La aplicación del tratamiento T2 (biochar 1% + compost) resultó en un incremento significativo del porcentaje de materia orgánica, alcanzando un valor de 2.29. Por otro lado, el tratamiento T4 (NPK) mostró un menor contenido de materia orgánica, con un valor de 0.74. Este aumento en el contenido de materia orgánica podría ser atribuido a la capacidad del biochar de aumentar la biodisponibilidad de nutrientes, así como a la adición de enmiendas orgánicas en el suelo al inicio del estudio. Este resultado está respaldado por la investigación de Scholz et al. (2014), quienes destacaron el

papel del biochar en el aumento y mantenimiento del contenido de materia orgánica en el suelo, señalando que este efecto puede variar dependiendo del tipo de suelo y la duración de la aplicación del biochar.

Además, los resultados obtenidos por Chancasanampa (2020) respaldan esta observación, ya que encontraron un aumento en el porcentaje de materia orgánica (3.76) al aplicar 20 tn/ha de biochar al suelo. Estos hallazgos indican que existe una relación proporcional entre la cantidad de biochar aplicado y el contenido de materia orgánica en el suelo.

C. Fósforo extractable del suelo

En este estudio, se observó que el suelo analizado tenía una cantidad apreciable de fósforo, lo que se traduce en un potencial reservorio de nutrientes para el cultivo de maíz chala. Sin embargo, el fósforo es conocido por su baja movilidad en el suelo y su tendencia a adsorberse a las partículas del suelo, lo que puede limitar su disponibilidad para las plantas.

El biochar, con su alta área superficial y porosidad, tiene la capacidad de retener nutrientes, incluido el fósforo, y prevenir su lavado o pérdida por lixiviación. Esto puede ser beneficioso al ayudar a mantener el fósforo en la zona de la raíz de las plantas durante un período de tiempo más prolongado, lo que potencialmente mejora su absorción. Además, el biochar, a medida que se descompone con el tiempo, puede contribuir a la mineralización del fósforo en formas más solubles y disponibles.

Sin embargo, es importante destacar que el efecto del biochar en la disponibilidad de fósforo puede ser gradual y puede variar según las condiciones específicas del suelo y el cultivo. Además, la interacción entre el biochar y el fósforo es un proceso complejo que puede depender de diversos factores, como el pH del suelo y la actividad microbiana.

En relación a los resultados, al analizar el contenido de fósforo extractable del suelo en los diferentes tratamientos, no se observaron diferencias significativas entre ellos. Estos hallazgos coinciden con los resultados obtenidos por Chancasanampa (2020), quien también reportó una falta de diferencias significativas en el contenido de fósforo entre los

tratamientos aplicados, a pesar de la incorporación de una cantidad significativa de biochar al suelo.

Estos resultados sugieren que el biochar aplicado en el estudio no tuvo un impacto significativo en la disponibilidad de fósforo en el suelo. Es importante tener en cuenta que la disponibilidad de fósforo en el suelo puede depender de diversos factores, como las características del biochar utilizado y las propiedades del suelo en particular. Se requieren más investigaciones para comprender mejor la interacción entre el biochar y el fósforo en el suelo y su efecto en la disponibilidad de este nutriente para las plantas.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del experimento actual y acorde a los objetivos planteados, se llega a las siguientes conclusiones:

- Se puede concluir que el uso de biochar tiene un efecto positivo en el rendimiento del cultivo de maíz chala en combinación con otros insumos agrícolas. Se observó que los tratamientos que incluyeron biochar en su composición mostraron un aumento significativo en los parámetros de rendimiento en comparación con el tratamiento testigo.
- El contenido de clorofila en las hojas del maíz chala fue mayor en los tratamientos con biochar combinado con otros nutrientes (T3 y T2), seguido por el tratamiento con solo NPK (T4) y el tratamiento solo con biochar (T1). El tratamiento testigo (T5) mostró el valor más bajo, indicando que la combinación de biochar con nutrientes adicionales aumenta el contenido de clorofila.
- El uso de biochar ya sea solo o en combinación con compost o NPK tuvo un impacto positivo en el rendimiento del maíz chala. Es importante destacar que el tratamiento T3 (Biochar 1% + NPK) demostró los valores más altos en términos de contenido de clorofila, biomasa fresca, biomasa seca, biomasa radicular fresca, biomasa radicular seca, índice de área foliar, altura de planta y diámetro de tallo. Estos resultados sugieren que la adición de biochar, especialmente en combinación con NPK o compost, puede mejorar significativamente el crecimiento y desarrollo del maíz chala.
- En el pH del suelo, se observó que los tratamientos que incluyeron biochar presentaron valores más altos en comparación con el tratamiento testigo, lo cual sugiere que el biochar actúa como agente neutralizador de la acidez del suelo.
- Se encontró que la combinación de biochar con compost en el tratamiento T2 resultó en el mayor contenido de materia orgánica en el suelo, mientras que los tratamientos sin biochar, como T4 (NPK) y T5 (Testigo), presentaron valores más bajos. Esto demuestra que la adición de biochar y compost contribuye al aumento de la materia

orgánica en el suelo, lo cual es beneficioso para la estructura y la salud del suelo.

- En cuanto al fósforo extractable, se observó un incremento en los tratamientos que incluyeron biochar, ya sea solo o en combinación con compost o NPK, en comparación con el tratamiento sin biochar. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y el control en este indicador.

RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS

Recomendaciones en base a las conclusiones previamente redactadas:

- Dado que esta investigación proporcionó resultados favorables con respecto al uso de biochar en combinación con compost o NPK, se recomienda repetir el experimento utilizando el mismo diseño y condiciones, con el fin de validar los resultados obtenidos y asegurar su reproducibilidad.
- En la investigación, se evaluaron tratamientos que incluían biochar en combinación con compost o NPK, pero no se evaluó específicamente el efecto del compost solo. Se sugiere incorporar un tratamiento adicional en futuros estudios donde se evalúe únicamente el compost, a fin de comprender mejor su impacto en el rendimiento del maíz chala.
- Además de evaluar el efecto del biochar en combinación con compost y NPK, se debe investigar la interacción de diferentes combinaciones de nutrientes, como biochar con otros fertilizantes orgánicos o minerales. Esto permitiría determinar las sinergias o complementariedades entre distintos insumos para optimizar el rendimiento del cultivo de maíz.
- Para evaluar la aplicación práctica de los resultados, se sugiere realizar análisis económicos y de viabilidad para determinar el costo-beneficio de la utilización de biochar y otros nutrientes en el cultivo de maíz chala. Esto proporcionará información relevante para los agricultores y tomadores de decisiones sobre la rentabilidad y sostenibilidad de estas prácticas.
- Es necesario continuar investigando y evaluando el impacto de la aplicación de biochar en diferentes cultivos y regiones, y difundir los resultados y beneficios a los agricultores y otros actores del sector agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkharabsheh, Hiba M., Mahmoud F. Seleiman, Martin Leonardo Battaglia, Ashwag Shami, Rewaa S. Jalal, Bushra Ahmed Alhammad, Khalid F. Almutairi y Adel M. Al-Saif. 2021. "Biochar y sus amplios impactos en la calidad y fertilidad del suelo, la lixiviación de nutrientes y la productividad de los cultivos: una revisión". *Agronomy*, 11(5): 993. Disponible en <https://doi.org/10.3390/agronomy11050993>. Recuperado el 21 de mayo de 2023.
- Altamirano Guerra, C.E. 2019. "Parámetros físicos y químicos para la determinación de la calidad de los suelos en la microcuenca Jun-Jun (Tesis de pregrado)". Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. 84 p. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30131/1/Tesis-238%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20-CD%20641.pdf>. Recuperado el 26 de julio de 2022.
- Álvarez, R.C. 2015. Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 166 páginas. Disponible en https://www.ciaorganico.net/documypublic/126_libro_fertilidad_de_suelos-pvo_isbn.pdf. Recuperado el 26 de julio de 2022.
- Andrades, M., & Martínez, M.E. 2014. Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones. Logroño, España. 29 páginas. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=267902>. Recuperado el 26 de julio de 2022.
- Andrades, M., Martínez, M.E. 2014. Fertilidad del suelo y parámetros que lo definen. 3ª edición. Universidad de La Rioja.
- Antal, M.J. y Gronli, M. 2003. The art, science and technology of charcoal production. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 42: 1619-1640 páginas. Disponible en <https://www.web3.cnre.vt.edu/frec/charcoal/documents/Antal%202003.pdf>. Recuperado el 24 de julio de 2022.

- Arango, L.K. 2022. Biochar y fertilización en la productividad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en las Lomas, Piura. Tesis de Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 71 páginas. Disponible en <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5242>. Recuperado en julio de 2022.
- Arias, G.J. 2020. Métodos de investigación online: herramientas digitales para recolectar datos. 99 páginas. Disponible en <https://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2237>. Recuperado el 27 de julio de 2022.
- Aróstegui, C.K. 2019. Evaluación del efecto de biochar de residuos de sachapichi y cacao sobre suelos degradados de Campoverde, Ucayali, usando *Zea mays* como indicador. Tesis de Ingeniería Ambiental. Universidad Científica del Sur, Lima, Perú. 88 páginas. Disponible en <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/762>. Recuperado el 26 de julio de 2022.
- Baena, G. 2017. Metodología de la investigación. 3ª edición. Patria. 156 páginas. Disponible en http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf. Recuperado el 24 de julio de 2022.
- Bautista, Z.F. 1998. Conservación y manejo de los suelos. Ciencias, 50-55 páginas. Disponible en <http://www.revistacienciasunam.com/images/stories/Articles/50/CNS05007.pdf>. Recuperado el 24 de julio de 2022.
- Brady, N.C., & Weil, R.R. 2017. The Nature and Properties of Soils. Pearson.
- Briceño, Y.H. 2012. EL MAÍZ, *Zea Mays*, UNA PLANTA DE TODOS LOS TIEMPOS. Primera Edición. Huánuco, Perú. UNIVERSAL. 123 páginas.
- Burbano-Orjuela, H. 2016. El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. Revista De Ciencias Agrícolas,

33(2), 117-124. Disponible en <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58>. Recuperado el 27 de julio de 2022.

Caipo, N.Y. 2016. Efecto de la aplicación del fertilizante orgánico fulvex™ en forma foliar al maíz (*Zea mays* L.) var. marginal 28T utilizado como chala. Tesis de Ingeniería Agrícola. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú. 63 páginas. Disponible en <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/2422>. Recuperado el 26 de julio de 2022.

Carter, R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal*, 94: 38 páginas. Disponible en <https://doi.org/10.2134/agronj2002.3800>. Recuperado el 25 de julio de 2022.

Cayuela, M., Sánchez-Monedero, M., Roig, A., et al. 2013. Biocarbón y desnitrificación en suelos: ¿Cuándo, cuánto y por qué el biocarbón reduce las emisiones de N₂O? *Informe científico*, 3, 1732. Disponible en <https://doi.org/10.1038/srep01732>. Recuperado el 26 de julio de 2022.

Chan, K.; Van Zwieten, L.; Meszaros, I.; Downie, A.; Joseph, S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, 45, 629-634 páginas. Disponible en <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.852.961&rep=rep1&type=pdf>. Recuperado en julio de 2022.

Chancasanampa, P.K. 2020. Aplicación de biochar en el cultivo de lechuga var. Great Lakes 659 en el distrito de San Agustín de Cajas. Tesis de Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. 95 páginas. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6713>. Consultado el 27 de julio de 2022.

Cheng, C.-H., Lehmann, J. y Engelhard, M. H. 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a

climosequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(6), 1598-1610. DOI: 10.1016/j.gca.2008.01.010.

Cruz Bautista, A., Etchevers Barra, J., del Castillo, R., & Gutiérrez, C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2). Disponible en <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>. Recuperado el 26 de julio de 2022.

Cunha, Antonio Ribeiro da, Katz, leoschua, Sousa, Antônio de Pádua, & Martínez Uribe, Raúl Andrés. 2015. Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de *lisianthus* en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. *Idesia (Arica)*, 33(2), 97-105 páginas. Disponible en <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292015000200012>. Recuperado el 21 de mayo de 2023.

De Salvo, C. P. 2018. Carmine Paolo De Salvo Deja un comentario. Sitio web del Banco Interamericano de Desarrollo. URL: <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/pueden-las-politicas-agricolas-influir-en-las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-2/>.

Dexter, A.R. 2004. Soil physical quality. Part I. Theory, effect of soil texture, density and organic matter, and effect on root growth. *Geoderma*, 120:201. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.004>. Recuperado el 23 de julio de 2022.

Díaz Vento, Ingrid, Ancco, Midwar, Peña Davila, Godofredo, Ancco-Loza, Rodolfo, Davila Del-Carpio, Gonzalo, & Jimenez Pacheco, Hugo Guillermo. 2022. Efectos del biocarbón obtenido a partir de residuos agrícolas de uva en la generación de biogás. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(4), 278-288. Disponible en <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2022.423>. Recuperado el 26 de julio de 2022.

Doran, J.W. y Parkin, B.T. 1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication, Number 35. Madison, Wisconsin, USA.

- Escalante Rebolledo, A., G. Pérez López, C. Hidalgo Moreno, J. López Collado, J. Campo Alves, E. Valtierra Pacheco y J. D. Etchevers Barra. 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34, 367-382.
- Fawzy, S., Osman, A.I., Doran, J. y Rooney, D.W. 2020. Estrategias para la mitigación del cambio climático: una revisión. *Environ Chem Lett*, pp. 1-26. DOI: 10.1007/s10311-020-01059-w.
- Fernández, L. 2009. Identificación de razas de maíz (*Zea mays* L) presentes en el germoplasma cubano. Tesis Doctor en Ciencias Biológicas. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" INIFAT. República de Cuba. 172 páginas. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000400015&lng=es&tlng=es. Recuperado el 27 de julio de 2022.
- García, Y., Ramírez, Wendy, & Sánchez, Saray. 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001&lng=es&tlng=es. Recuperado el 26 de julio de 2022.
- Gitelson, A.A., Zur, Y., Chivkunova, O.B., & Merzlyak, M.N. 2003. Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. *Photochemistry and Photobiology*, 75(3), 272-281.
- Gómez, S. 2012. Metodología de la investigación. México, D.F.: Red Tercer Milenio.
- Gonzáles, H. 2016. Clorantraniliprole (Coragen SC) en el control del Gusano picador de plantas tiernas en cultivo de maíz forrajero (*Zea mays* L.). Irrigación-Majes-Arequipa. UNSA-Perú. 2016. Disponible en <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7231>. Recuperado el 25 de julio de 2022.

Hanco, M.R. 2021. Efecto de dos densidades de siembra al establecimiento sobre la producción forrajera del maíz híbrido bajo sistema de riego por goteo en la irrigación Majes – Arequipa. Tesis de Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. 162 páginas. Disponible en

http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/16148/Hanco_Mart%C3%ADnez_Rub%C3%A9n_De_Renze.pdf?sequence=1.

Recuperado el 27 de julio de 2022.

Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C. 2018. Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education. 714 páginas. Disponible en

[https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-](https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf)

[Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf](https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf). Recuperado el 28 de julio de 2022.

Hidalgo, E. 2013. Manejo técnico del cultivo de maíz amarillo duro en la región San Martín. INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria). Primera edición. Folleto N° 02-13. 25 páginas. Disponible en https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/149/1/Cultivo_maiz_amarillo_2013.pdf. Recuperado el 26 de julio de 2022.

Honorato, R. 2000. Manual de Edafología. 4ª edición. Santiago: Universidad Católica de Chile Alfaomega. 267 páginas.

IBI (International Biochar Initiative). 2015. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil (en línea, sitio web). Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI_Biochar_Standards_V2.1_Final.pdf

- Iglesias Abad, Sergio, Alegre Orihuela, Julio, Salas Macías, Carlos, & Egüez Moreno, José. 2018. El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 25-32. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.03>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2013. Anuario de Estadísticas Ambientales 2013. Territorio y Suelos., 27-58 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1140/Libro.pdf
- Johnson, D., Smith, M., Schmidt, M., & Carreiro, M. 2018. Biochar does not enhance growth of several tree species in Midwest United States. *Ecological Applications*, 28(6), 1617-1627. Recuperado el 21 de mayo de 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1002/eap.1741>
- Juárez M. C. 2018. Evaluación de las deficiencias tempranas de nitrógeno en maíz (*Zea mays* L.), y su relación con los contenidos de clorofila por influencia de dosis de fertilización nitrogenada, Yalagüina, Nicaragua, 2017. Tesis Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. 39 páginas. Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/3774/>. Recuperado el 26 de julio de 2022.
- Kimetu, J., Lehmann, J., Ngoze, S., Mugendi, D., Kinyangi, J., Riha, S., Verchot, L., Recha, J., y Pell, A. 2008. Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient. *Ecosystems*, vol 11, 726–739 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://orcid.org/0000-0001-8309-6754>
- Knoblauch C, Priyadarshani SHR, Haefele SM, Schröder N, Pfeiffer EM. 2021. Impacto del biocarbón en el suministro de nutrientes, rendimiento de cultivos y respiración microbiana en suelos arenosos del norte de Alemania. *Eur J Ciencia del suelo*, 72, 1885–1901 páginas. Recuperado el 21 de mayo de 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1111/ejss.13088>KNOBLAUCHY AL.1901

- Lal, R. 2015. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875-5895.
- Lal, R. Soil quality and agricultural sustainability. 1998. In: *Soil quality and agricultural sustainability*. (Ed. R. Lal). Ann Arbor Press, Chelsea, MI. 3 páginas.
- Larson-Herrera, I., Rayo, Hidalgo, Claudia, Guzmán-Plazola, Remigio, Almaraz Suárez, J. José, Navarro-Garza, Hermilio, & Etchevers-Barra, Jorge D. 2017. Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51(8), 813-831. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000800813&lng=es&tlng=es. Recuperado el 24 de julio de 2022.
- Larson, W.E. y Pierce, F.J. 1991. Conservation and Enhancement of Soil Quality. In *Evaluation for sustainable land management in the developing world*. En Proc. of the Int. Workshop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Chiang Rai. 175-203 páginas.
- Lehmann, J. and S. Joseph. 2009. Biochar for environmental management. *Science and technology*. Earthscan. UK-USA. 404 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/50532/TFG-L2893.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lehmann, J., & Joseph, S. 2015. *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation* (2nd ed.). Routledge. 928 páginas. Consultado el 26 de julio de 2022. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://doi.org/10.4324/9780203762264>
- Li, Changjiang, Cunyou Zhao, Ximei Zhao, Yuanbo Wang, Xingjun Lv, Xiaowei Zhu y Xiliang Song. 2023. Efectos beneficiosos de la aplicación de biocarbón con fertilizante nitrogenado en la retención, absorción y utilización de nitrógeno en el suelo en la producción de maíz. *Agronomy*, 13(1), 113 páginas. Recuperado el 21 de mayo de 2023. Disponible en <https://doi.org/10.3390/agronomy13010113>

- López Falcon, R. 2022. Degradación de suelo: causas, procesos de evaluación e investigación. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes. 280 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>
- Luzardo, M; Jiménez, M. 2018. Manual de inferencia estadística (en línea). Universidad Pontificia Bolivariana. Recuperado el 7 de julio de 2022. Disponible en <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/4111>
- Lynch, 2013. Steep, cheap, and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize root systems. *Annals of Botany*, 112(2), 347-357.
- Major, J.; Rondon, M.; Molina, D.; Riha, S.J. y Lehmann, J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*, 333(1–2), 117–128 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0327-0>
- Manrique, A. 1997. El maíz en el Perú. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC). Fondo del Libro del Banco Agrario. Lima-Perú, 334-362 páginas.
- Martinez, F., Ojeda, D., Hernández, A., Martinez, J., De la O, G. 2011. Exceso de Nitratos: Un problema actual en la agricultura. Synthesis. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. 57 ed, 11-16 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://silo.tips/download/las-comunidades-agrarias-tradicionales>
- Mendoza T. A. 2019. Compost y biochar en la producción y calidad de vainita (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Jade en la Molina. Tesis Ingeniería Agrícola. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. 67 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4140>

- Mohan, D., Abhishek, K., Sarswat, A., Patel, M., Singh, P. y Pittman, C. U. 2018. Biochar production and applications in soil fertility and carbon sequestration – a sustainable solution to crop-residue burning in India. RSC Advances, 8(1), pp. 508-520. DOI: 10.1039/c7ra10353k.
- Molina M. D. 2013. Evaluación de la aplicación de biochar en un cultivo de *Physalis peruviana* L. (uchuva). Tesis de Licenciatura en Biología. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. 44 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <http://hdl.handle.net/10554/17918>.
- Moraes et al. 2017. Relationships between maize yield and biomass growth at various spatial scales. *Field Crops Research*, 205, 99-109.
- Moreno-Riascos, Sandra y Ghneim-Herrera, Thaura. 2020. Impacto del uso de biocarbón en la producción agrícola y el cambio climático. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 38(3), 367-381. Epub 04 de junio de 2021. Recuperado el 21 de mayo de 2023. Disponible en <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v38n3.87398>
- Novoa S.-A., Rafael, & Villagrán A., Nicolás. 2002. EVALUACIÓN DE UN INSTRUMENTO MEDIDOR DE CLOROFILA EN LA DETERMINACIÓN DE NIVELES DE NITRÓGENO FOLIAR EN MAÍZ. *Agricultura Técnica*, 62(1), 166-171. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072002000100017>
- Olmo Olmo, M.P., 2009. Agricultural bio-char production, renewable energy generation and farm carbon sequestration in Western Australia: Certainty, uncertainty and risk. *J. Agric. Ecosys. Environ.* Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0078>
- Olmo, M. 2016. Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Córdoba. Córdoba, España. 156 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence=1>

- Osorio N. W. 2012. pH DEL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES. Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Volumen 1 No. 4 páginas. Recuperado el 27 de julio de 2022. Disponible en <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>
- Paliwal R. L. G. Granados, H. R. Lafitte, A. D. Violic y J. P. Marathée, Eds. 2001. Morfología del maíz tropical. En: El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Departamento de Agricultura. Roma, Italia. 376 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el-maiz-en-los-tropicos.pdf>
- Parra M. R. E. 2003. Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Madrid: Mundi-Prensa. 256 páginas.
- Pimentel, D., Harman, R., Pacenza, M. et al. 1994. Natural resources and an optimum human population. *Popul Environ* 15, 347–369 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1007/BF02208317>
- Puentes Escobar, T. C., & Rodríguez Carlosama, . A. 2021. Impacto del biocarbón en el suelo agrícola. *Avances Investigación En Ingeniería*, 18(2). Recuperado el 21 de mayo de 2023. Disponible en <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.7540>
- Quispe, R. 2017. Evaluación del potencial productivo de diez cultivares de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) en condiciones de Santa Ana, la Convención Cusco. Moquegua-Perú: Universidad José Carlos Mariátegui. 119 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <http://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/192>
- Agüero Ramos, David, & Terry Alfonso, Elein. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 52-59. Recuperado en

12 de octubre de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400007&lng=es&tlng=es.

Richardson, A. E., & Simpson, R. J. 2011. Soil microorganisms mediating phosphorus availability. *Plant Physiology*, 156(3), 989-996.

Rojas E. y Ibarra. J. 2002. El Ordenamiento Territorial, Medio Fundamental para el Bienestar de la Población. *Revista Población y Desarrollo*. Facultad de Ciencias Económicas-UNA/FNUAP. Ed. N° 23. 16 páginas. Recuperado el julio 2022. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5654390.pdf>

Salazar, C; Del Castillo, S. 2018. Fundamentos básicos de estadística. Quito, Ecuador: Del Castillo Galarza, Raúl Santiago. 520 páginas. Recuperado el 12 de julio de 2022. Disponible en [http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13720/3/Fundamentos %20B%c3%a1sicos%20de%20Estad%c3%adstica-Libro.pdf](http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13720/3/Fundamentos%20B%c3%a1sicos%20de%20Estad%c3%adstica-Libro.pdf)

Sánchez, H; Reyes, C. 2006. Metodología y Diseño en la Investigación Científica. Lima: Edit. Visión Universitaria. 72 páginas. Recuperado el 12 de julio de 2022. Disponible en <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>

Sánchez, M., Casanova, L., & Oviedo, R. 2013. Efecto de la altura de corte sobre el índice de área foliar y la producción de forraje en pastos de *Brachiaria decumbens*. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 30(1), 45-60. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://doi.org/10.22187/rfa.v30i1.234>

Sánchez-Maranon, M. et al. 2002. Soil quality in Mediterranean mountain environments: effects of land use change. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 948 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.9480>

Scholz, S. B., Sembres, T., Roberts, K., Whitman, T., Wilson, K., & Lehmann, J. 2014. Biochar systems for smallholders in developing countries. *Le*

Njuguna ging current knowledge and exploring future potential for climate-smart agriculture. Washington, DC, USA: The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-9525-7>

Seybold, C.A., Mausbach, M.J., Karlen, D.L. y Rogers, H.H. 1997. Quantification of Soil Quality. En Soil Process and the Carbon Cycle (eds. Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. y Stewart, B.A.). CRC Press. Boca Raton, Florida. 387-403 páginas.

Smith, P. 2016. Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies. *Global Change Biology*, 22(3), pp. 1315-1324. DOI: 10.1111/gcb.13178.

Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E. y Bol, R. 2009. Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. Rep. No. 05/09. CSIRO. 56 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en 10.4236/as.2019.101009

Solano C. H. 2021. Influencia del cultivo de maca en la calidad físicoquímica de suelos en diferentes tiempos de descanso en la Meseta de Bombón, Junín. Tesis M. Sc Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible. Huancayo, Perú. Universidad Nacional del Centro del Perú. 75 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6998/Tesis%20Heidi%20Mireille%20De%20la%20Cruz%20Solano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SQI-Soil Quality Institute. 1996. Indicators for soil quality evaluation. USDA natural resources conservation service. The National Soil Survey Center / The Soil Quality Institute, NRCS, USDA / The National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.

Stauffer E., Dolan A., Newman R. 2008. Chapter 4 - Chemistry and Physics of Fire and Liquid Fuels. *Fire Debris Analysis*. Academic Press. 85 – 129 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-012663971-1.50008-7>.

- Steiner, C., Das, K. C., Garcia, M., Forster, B. y Zech, W. 2008. Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferralsol. *Pedobiologia*, vol 51. 359–366 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2007.08.002>
- Steiner, C., Das, K. C., Garcia, M., Forster, B. y Zech, W. 2008. Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferralsol. *Pedobiologia*, vol 51. 359–366 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2007.08.002>
- Suarez C. F. 1979. Conservación de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. 315 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=0m4sMHHvahgC&oi=fnd&pg=PA20&dq=tesis+en+suelos&ots=m4A9VyEBm8&sig=k78QgwAqDYHyNT1aWqHXA54oj7l#v=onepage&q=tesis%20en%20suelos&f=false>
- Taddese, G. 2001. Degradación de la tierra: un desafío para Etiopía. *Gestión Ambiental* 27. 815–824 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s002670010190>
- Terashima et al. 2011. Leaf functional anatomy in relation to photosynthesis. *Plant Physiology*, 155(1), 108-116.
- Violic A.D. 2001. Manejo integrado de cultivos. Manejo del agua. En: El maíz en los trópicos. FAO. Roma. 283-287 páginas. Recuperado el 26 de julio de 2022. Disponible en <https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s00.htm>

ANEXO

Anexo 1: Fotografías del experimento 2022



1. Surcado, trazado y delimitación del terreno.



2. Se midió la densidad del biochar aplicado al suelo por surco para evaluar su efecto en el suelo.



3. Se peso y combino de manera homogénea el fertilizante.



4. Riego pre siembra.



5. Germinación de los brotes de maíz en tratamientos con biochar.



6. Se colocó los letreros de cada tratamiento.



7. Tratamientos en donde se aplicó biochar con compost.



8. Deshierbo y riego de los tratamientos en investigación.



9. Tratamientos con biochar y fertilizante.



10. Proyecto de investigación utilizando biochar en el cultivo de maíz.



11. Tratamientos en la etapa V6: Testigo, Biochar 1%, Biochar 1% + compost, NPK, Biochar 1% + NPK



12. Tratamientos (hoja)_V6: Testigo, Biochar 1%, Biochar 1% + compost, NPK, Biochar 1% + NPK



13. Toma de datos del índice de rendimiento.



14. Pesaje de biomasa en maíz y su posterior secado.



15. Pesaje de biomasa radicular fresca.



16. Muestra de suelo de los tratamientos en donde se aplicó biochar.



17. Muestra de suelos de los tratamientos.



18. Mullido, envasado y roturado de las muestras de suelo.



19. Medición de pH del suelo



20. Determinación de materia orgánica en el suelo.



21. Determinación de fósforo en la muestra de suelo



22. Medición de valores a través del espectrómetro.

Anexo 2: Caracterización de suelos de las parcelas experimentales



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: SORIA DURAND LUIS ANGEL

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO				pH	CE	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%									
	CODIGO DEL LABORATORIO	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Arena	Arilla	Limo	Textura								1:1	uS/cm	%	%	disponible						Ca	Mg	K	Na	Al	H	Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al
			%	%	%													ppm	ppm													
1	S1002	M1	45	28	27	Franco Arcilloso	6.92	1054	0.9	0.14	28.52	112.73	15.14	12.53	2.23	0.26	0.12	0.00	0.00	14.76	100	0	0									

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
RECIBO 001-0651231
TINGO MARIA, 28 DE JUNIO 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe (e) Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : RENEMAR S.A
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ SANTA ANITA
MUESTRA : COMPOST DE GUANO DE BOVINO
REFERENCIA : H.R. 68416
FACTURA : 5011
FECHA : 03/06/19

N° LAB	CLAVES	pH	C.E dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
472	Lote 7 al frente a Tecsup	8.22	11.90	46.11	1.74	0.95	1.19

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
472	Lote 7 al frente a Tecsup	5.52	1.92	53.65	5.70



Sady García Bendezú
Dr. Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 3: Valores registrados del experimento

TRAT.	BLOQ	ALTURA/PL (CM)	DIÁM./TALLO (CM)	ÁREA FOLIAR(CM2)	PESO FRESCO AÉREO (G)	PESO SECO AÉREO (G)	PESO FRESCO RAÍZ (G)	PESO SECO RAÍZ (G)	SPAD	PH	MATERIA ORGÁNICA (%)	FÓSFORO DISPONIBLE (PPM)
Biochar 1%	r1	143.20	1.59	5.28	313.00	59.77	57.04	12.17	19.042	7.01	2.12	44.41
Biochar 1% + compost	r1	167.20	1.43	5.32	422.75	72.37	99.08	26.45	29.041	7.03	2.28	43.38
Biochar 1% + NPK	r1	189.30	1.75	6.86	482.00	126.01	194.26	49.17	30.368	7.39	1.90	34.05
NPK (230-40-190)	r1	167.10	1.66	7.80	390.00	97.85	76.42	18.46	36.146	7.00	1.37	30.95
Testigo	r1	112.20	1.59	4.86	289.00	60.26	34.43	6.58	14.010	6.86	1.11	32.43
Biochar 1%	r2	124.80	1.56	4.41	308.00	69.16	38.27	19.75	19.401	7.03	1.85	42.18
Biochar 1% + compost	r2	168.50	1.59	7.32	334.00	62.20	89.23	27.63	30.720	7.17	2.33	40.19
Biochar 1% + NPK	r2	185.60	2.07	10.78	515.00	129.96	250.44	100.76	31.423	7.40	2.06	42.10
NPK (230-40-190)	r2	159.30	1.59	6.63	410.00	93.90	84.04	23.63	20.377	6.90	0.58	21.31
Testigo	r2	121.30	1.53	4.53	208.00	54.09	23.47	3.70	17.939	6.80	0.53	32.22
Biochar 1%	r3	138.20	1.43	4.27	316.00	59.87	48.00	14.20	20.053	7.14	1.59	46.22
Biochar 1% + compost	r3	153.40	1.94	6.84	380.25	69.44	108.69	31.27	30.072	6.97	2.17	44.34

Biochar 1% + NPK	r3	181.60	1.91	8.58	574.00	106.15	184.33	44.19	30.988	7.43	1.59	52.11
NPK (230-40-190)	r3	172.10	1.59	7.63	387.00	115.93	70.30	17.48	21.362	6.89	0.37	42.44
Testigo	r3	132.00	1.50	5.18	255.00	65.25	40.91	7.03	19.632	6.78	0.47	29.45
Biochar 1%	r4	148.60	1.50	5.83	416.00	64.79	36.69	12.12	18.266	6.94	1.53	37.26
Biochar 1% + compost	r4	154.80	1.37	5.78	364.00	68.86	97.31	18.57	31.239	7.19	2.38	47.53
Biochar 1% + NPK	r4	184.90	1.94	8.27	470.00	157.92	224.16	62.16	34.768	7.39	1.06	36.30
NPK (230-40-190)	r4	168.20	1.75	6.42	366.00	94.66	76.82	16.72	20.465	6.81	0.63	43.66
Testigo	r4	121.00	1.43	5.80	229.00	49.03	23.05	4.33	20.343	6.79	1.32	33.94

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA DEL PROGRAMA TURNITIN

LA DIRECCIÓN DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:

Hace constar que el Título:

**EFFECTO DEL BIOCHAR SOBRE EL SUELO Y RENDIMIENTO DEL MAÍZ
CHALA, EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE CANCHÁN, 2022**

Presentado por (el) (la) alumno (a) de la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica.

SORIA DURAND, LUIS ANGEL;

Documento aplicado al programa: "Turnitin" para su revisión.

Fecha: **06 de junio 2023**

Número de registro: **18**

Resultado: **30% de similitud general**

Porcentaje considerado: **Apto**, por disposición de la UNHEVAL.

Para lo cual firmo el presente para los fines correspondientes.

Atentamente.



Dr. Roger Estacio Laguna
Unidad de Investigación de la F.C.A.

NOMBRE DEL TRABAJO

**EFFECTO DEL BIOCHAR SOBRE EL SUELO
Y RENDIMIENTO DEL MAÍZ CHALA, EN E
L CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE CANC
HÁN, 2022**

AUTOR

LUIS ANGEL SORIA DURAND

RECUENTO DE PALABRAS

24801 Words

RECUENTO DE CARACTERES

126722 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

100 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.4MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 6, 2023 4:03 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 6, 2023 4:05 PM GMT-5

● **30% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 28% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 17% Base de datos de trabajos entregados
- 10% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)



Dr. Roger Estacio Laguna
Director de la Unidad de Investigación
Facultad Ciencias Agrarias



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO

En la ciudad de Huánuco a los 26 días del mes de octubre del año 2023, siendo las 10:00 horas de acuerdo al Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán-Huánuco, y en virtud de la Resolución de Consejo Universitario N° 2939-2022-UNHEVAL, de fecha 12 de setiembre de 2022, se dispone que los decanos de las 14 facultades de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco programen, A PARTIR DE LA FECHA, la sustentación de tesis de manera presencial, los miembros integrantes del Jurado Calificador, nombrados mediante Resolución N° 621 - 2023- UNHEVAL-FCA-D, de fecha 19/10/2023, para proceder con la evaluación de la sustentación de la tesis titulada: Efecto del biochar sobre el suelo y rendimiento del maíz chala, en el Centro de investigación de Canchan, 2022

presentada por el (la) Bachiller en Ingeniería Agronómica:

Luis Angel Soria Durand

Bajo el asesoramiento de:

MSc. Kadir John Márquez Dávila

El Jurado Calificador está integrado por los siguientes docentes:

PRESIDENTE : Mg. Ana Mercedes Asado Hurtado
SECRETARIO : Dra. Liliana Vega Jora
VOCAL : Ing. Gtiferlio Vargas Garcia
ACCESITARIO 1 : Mg. Eugenio Fausto Pérez Trujillo
ACCESITARIO 2 : Dr. Walter Vizcarra Arbizu

Finalizado el acto de sustentación, luego de la deliberación y verificación del calificativo por el Jurado, se obtuvo el siguiente resultado: aprobado por unanimidad con el cuantitativo de 17, y cualitativo de muy bueno quedando el sustentante apto para que se le expida el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRONOMO.

El acto de sustentación se dio por concluido, siendo las 12:00 horas.

Huánuco, 26 de octubre de 2023

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

- Deficiente (11, 12, 13) Desaprobado
- Bueno (14, 15, 16) Aprobado
- Muy Bueno (17, 18) Aprobado
- Excelente (19, 20) Aprobado



OBSERVACIONES:

sin observaciones

Huánuco, 26 de octubre de 2023



 PRESIDENTE



 SECRETARIO



 VOCAL

LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES:

Huánuco, ____ de ____ de 20__

 PRESIDENTE

 SECRETARIO

 VOCAL



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DIGITAL Y DECLARACIÓN JURADA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR UN GRADO ACADÉMICO O TÍTULO PROFESIONAL

1. Autorización de Publicación: (Marque con una "X")

Pregrado	X	Segunda Especialidad		Posgrado:	Maestría		Doctorado
-----------------	---	-----------------------------	--	------------------	----------	--	-----------

Pregrado (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Facultad	CIENCIAS AGRARIAS
Escuela Profesional	INGENIERÍA AGRONÓMICA
Carrera Profesional	INGENIERÍA AGRONÓMICA
Grado que otorga	-----
Título que otorga	INGENIERO AGRÓNOMO

Segunda especialidad (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Facultad	-----
Nombre del programa	-----
Título que Otorga	-----

Posgrado (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Nombre del Programa de estudio	-----
Grado que otorga	-----

2. Datos del Autor(es): (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

Apellidos y Nombres:	Soria Durand Luis Angel						
Tipo de Documento:	DNI	X	Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular: 917071789
Nro. de Documento:	73658233				Correo Electrónico: lsoriadurand1998@gmail.com		

Apellidos y Nombres:							
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:
Nro. de Documento:					Correo Electrónico:		

Apellidos y Nombres:							
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:
Nro. de Documento:					Correo Electrónico:		

3. Datos del Asesor: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos según DNI**, no es necesario indicar el Grado Académico del Asesor)

¿El Trabajo de Investigación cuenta con un Asesor?: (marque con una "X" en el recuadro del costado, según corresponda)	SI	X	NO
Apellidos y Nombres:	Márquez Dávila Kadir Jhon		
Tipo de Documento:	DNI	X	Pasaporte
Nro. de Documento:	22530263		
ORCID ID:	https://orcid.org/0000-0003-3019-5665		

4. Datos del Jurado calificador: (Ingrese solamente los **Apellidos y Nombres completos según DNI**, no es necesario indicar el Grado Académico del Jurado)

Presidente:	Ana Mercedes Asado Hurtado
Secretario:	Liliana Vega Jara
Vocal:	Grifelio Vargas García
Accesitario	Eugenio Fausto Pérez Trujillo
Accesitario	Walter Vizcarra Arbizu


5. Declaración Jurada: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

a) Soy Autor (a) (es) del Trabajo de Investigación Titulado: (Ingrese el título tal y como está registrado en el Acta de Sustentación)
EFFECTO DEL BIOCHAR SOBRE EL SUELO Y RENDIMIENTO DEL MAÍZ CHALA, EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE CANCHÁN, 2022
b) El Trabajo de Investigación fue sustentado para optar el Grado Académico ó Título Profesional de: (tal y como está registrado en SUNEDU)
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO
c) El Trabajo de investigación no contiene plagio (ninguna frase completa o párrafo del documento corresponde a otro autor sin haber sido citado previamente), ni total ni parcial, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias.
d) El trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.
e) El trabajo de investigación no ha sido publicado, ni presentado anteriormente para obtener algún Grado Académico o Título profesional.
f) Los datos presentados en los resultados (tablas, gráficos, textos) no han sido falsificados, ni presentados sin citar la fuente.
g) Los archivos digitales que entrego contienen la versión final del documento sustentado y aprobado por el jurado.
h) Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán (en adelante LA UNIVERSIDAD), cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de Investigación, así como por los derechos de la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causas en la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNIVERSIDAD en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del trabajo de investigación. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

6. Datos del Documento Digital a Publicar: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

Ingrese solo el año en el que sustentó su Trabajo de Investigación: (Verifique la Información en el Acta de Sustentación)				2023			
Modalidad de obtención del Grado Académico o Título Profesional: (Marque con X según Ley Universitaria con la que inició sus estudios)	Tesis	X	Tesis Formato Artículo		Tesis Formato Patente de Invención		
	Trabajo de Investigación		Trabajo de Suficiencia Profesional		Tesis Formato Libro, revisado por Pares Externos		
	Trabajo Académico		Otros (especifique modalidad)				
Palabras Clave: (solo se requieren 3 palabras)	Carbón vegetal		Materia seca		Enmiendas orgánicas		
Tipo de Acceso: (Marque con X según corresponda)	Acceso Abierto Con Periodo de Embargo (*)		X	Condición Cerrada (*) Fecha de Fin de Embargo:			
¿El Trabajo de Investigación, fue realizado en el marco de una Agencia Patrocinadora? (ya sea por financiamientos de proyectos, esquema financiero, beca, subvención u otras; marcar con una "X" en el recuadro del costado según corresponda):					SI	X	NO
Información de la Agencia Patrocinadora:	Universidad Nacional Hermilio Valdizán						

El trabajo de investigación en digital y físico tienen los mismos registros del presente documento como son: Denominación del programa Académico, Denominación del Grado Académico o Título profesional, Nombres y Apellidos del autor, Asesor y Jurado calificador tal y como figura en el Documento de Identidad, Título completo del Trabajo de Investigación y Modalidad de Obtención del Grado Académico o Título Profesional según la Ley Universitaria con la que se inició los estudios.

7. Autorización de Publicación Digital:

 UNHEVAL UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN	VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN	DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN		
--	---	--	--	--

A través de la presente. Autorizo de manera gratuita a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán a publicar la versión electrónica de este Trabajo de Investigación en su Biblioteca Virtual, Portal Web, Repositorio Institucional y Base de Datos académica, por plazo indefinido, consintiendo que con dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente. Se autoriza cambiar el contenido de forma, más no de fondo, para propósitos de estandarización de formatos, como también establecer los metadatos correspondientes.

Firma: 		
Apellidos y Nombres:	SORIA DURAND LUIS ANGEL	Huella Digital
DNI:	73658233	
Firma:		
Apellidos y Nombres:		Huella Digital
DNI:		
Firma:		
Apellidos y Nombres:		Huella Digital
DNI:		
Fecha: 09/10/2023		

Nota:

- ✓ No modificar los textos preestablecidos, conservar la estructura del documento.
- ✓ Marque con una **X** en el recuadro que corresponde.
- ✓ Llenar este formato de forma digital, con tipo de letra **calibri**, **tamaño de fuente 09**, manteniendo la alineación del texto que observa en el modelo, sin errores gramaticales (*recuerde las mayúsculas también se tildan si corresponde*).
- ✓ La información que escriba en este formato debe coincidir con la información registrada en los demás archivos y/o formatos que presente, tales como: DNI, Acta de Sustentación, Trabajo de Investigación (PDF) y Declaración Jurada.
- ✓ Cada uno de los datos requeridos en este formato, es de carácter obligatorio según corresponda.