

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**EFFECTO DE BIOCHAR Y NIVELES DE FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE
Zea mays EN EL DISTRITO DE DANIEL ALOMÍA ROBLES**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR:

ELVIS NICEFORO HUANCA GUZMAN

ASESOR:

CARLOS MIGUEL MIRANDA ARMAS

Tingo María – Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE AGRONOMÍA



Km 1.21 carretera Tingo María. Telf. (062) 561136 E.mail: fagro@unas.edu.pe.

"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

N° 002-2025-FA-UNAS

BACHILLER : ELVIS NICEFORO HUANCA GUZMAN

TÍTULO : "EFECTO DE BIOCHAR Y NIVELES DE FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO
DE *Zea mays* EN EL DISTRITO DE DANIEL ALOMIA ROBLES".

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
VOCAL : Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO
VOCAL : Ing. M.Sc. LUIS FERNANDO GARCIA CARRION

ASESOR : Ing. CARLOS MIGUEL MIRANDA ARMAS

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 20/01/2025

HORA DE SUSTENTACIÓN : 09:00 A.M.


LUGAR DE SUSTENTACIÓN : Sala de Audiovisuales de la F.A.

CALIFICATIVO : BUENO


RESULTADO : APROBADO

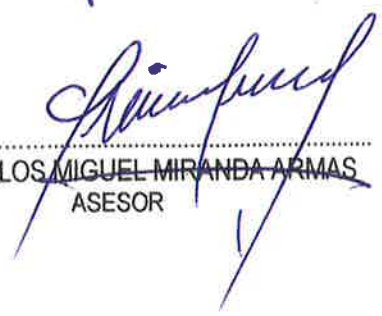
OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 20 DE ENERO DEL 2025


.....
Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
PRESIDENTE


.....
Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO
VOCAL


.....
M.Sc. LUIS FERNANDO GARCIA CARRION
VOCAL


.....
Ing. CARLOS MIGUEL MIRANDA ARMAS
ASESOR



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 066 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Agronomía

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFFECTO DE BIOCHAR Y NIVELES DE FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE Zea mays EN EL DISTRITO DE DANIEL ALOMÍA ROBLES	ELVIS NICEFORO HUANCA GUZMAN	16 % Dieciséis

Tingo María, 28 de febrero de 2025


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomas Mejacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DE TÍTULO

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	: Facultad de Agronomía
Título de tesis	: Efecto de Biochar y niveles de fertilización en el cultivo de <i>Zea mays</i> en el distrito de Daniel Alomía Robles
Autor	: Bach. Elvis Niceforo Huanca Guzman
DNI	: 74161230
Correo electrónico	: elvis.huanca@unas.edu.pe
Asesor	: Ing. Carlos Miguel Miranda Armas
Escuela Profesional	: Agronomía
Área de investigación	: Suelos y fertilizantes
Línea (s) de investigación	: Fertilidad, clasificación, biología, manejo de suelos
Eje temático de investigación	: Dosis creciente de fertilizantes y abonos orgánicos
Lugar de ejecución	: Caserío Las Vegas
Duración del trabajo	: 6 meses
Fecha de inicio	: Setiembre, 2019
Término	: Febrero, 2020
Financiamiento	: S/. 10,155.00
FEDU	: NO
Propio	: SI
Otros	: NO

Tingo María - Perú - Febrero, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



EFFECTO DE BIOCHAR Y NIVELES DE FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE *Zea mays* EN EL DISTRITO DE DANIEL ALOMÍA ROBLES

Autor : Bach. Elvis Niceforo HUANCA GUZMAN

Asesor : Ing. Carlos Miguel MIRANDA ARMAS

Programa de investigación : Suelos y fertilizantes

Líneas de investigación : Fertilidad, clasificación, biología, manejo y conservación de suelos

Eje temático : Fertilizantes y abonos orgánicos

Lugar de ejecución : Caserío Las Vegas

Duración del trabajo : 6 meses

Financiamiento : Propio

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Cultivo de maíz en el Perú.....	3
2.2. Morfología del maíz	3
2.2.1. Raíz.....	3
2.2.2. Tallos	3
2.2.3. Hojas.....	3
2.2.4. Floración.....	3
2.3. Clasificación taxonómica.....	4
2.4. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de maíz	4
2.5. Extracción de nutrientes del cultivo de maíz	4
2.5.1. Dinámica de absorción	5
2.5.2. Ritmo y forma de extracción de los nutrientes	6
2.6. Biochar o biocarbón.....	8
2.6.1. Composición del biochar	8
2.6.2. Beneficios del biochar	9
2.6.3. Uso del biochar en la agricultura.....	10
2.7. Antecedentes.....	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1. Descripción general de la zona de estudio.....	14
3.1.1. Clima	14
3.1.2. Suelos	15
3.2. Materiales y equipos	16
3.2.1. Materiales y herramientas.....	16
3.2.2. Materiales biológicos e insumos	17
3.2.3. Software.....	17
3.2.4. Equipos	17
3.3. Metodología.....	17
3.3.1. Diseño estadístico	17
3.3.2. Tratamientos	18
3.3.3. Diseño experimental.....	18

3.3.4. Análisis estadístico	19
3.3.5. Ejecución del experimento	19
3.3.6. Evaluaciones de campo y laboratorio	22
3.3.7. Rendimiento estimado (t/ha ⁻¹)	23
3.3.8. Análisis beneficio/costo (B/C)	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. Dosis de biochar – NPK en el rendimiento del cultivo de maíz	24
4.1.1. Altura de planta	24
4.1.2. Biometría de la mazorca	29
4.1.3. Rendimiento del cultivo de maíz	32
4.2. Porcentaje de fertilización recomendada con mayor eficiencia en el desarrollo, crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz.....	37
4.3. Análisis de beneficio/costo	38
V. CONCLUSIONES	40
VI. PROPUESTAS A FUTURO	41
VII. REFERENCIAS.....	42
ANEXO	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Extracción de macronutrientes en maíces híbridos modernos para un rendimiento promedio de 12 t/ha ⁻¹	7
2. Informaciones meteorológicas de la estación Tulumayo - 2021	15
3. Análisis fisicoquímico del suelo del área de investigación	16
4. Distribución de los tratamientos	18
5. Análisis de variancia en DBCA	19
6. Promedio de altura de planta (m), altura de mazorca (m) y número de mazorcas por interacción de los factores	25
7. Análisis de varianza ($\alpha = 0,05$) para la altura de la planta de maíz	26
8. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) de la altura de la planta de maíz	28
9. Biometría de las mazorcas de maíz con interacción de los de los factores	29
10. Análisis de varianza ($\alpha = 0,05$) de la biometría de la planta de maíz	30
11. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) de la biometría de la planta de maíz	31
12. Promedios de los granos por mazorca, peso de 100 semillas, pesos de granos por parcela y rendimiento por interacción de los factores las mazorcas de maíz con interacción de los de los factores	33
13. Análisis de varianza ($\alpha = 0,05$) para el peso de los granos por mazorca, peso de 100 semillas, peso de granos por parcela y rendimiento (t/ha) del cultivo de maíz	35
14. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para el peso de granos por mazorca, peso de 100 semillas, peso de los granos por parcela y rendimiento (t/ha) en el cultivo de maíz	36
15. Análisis de beneficio y costo (B/C) de los tratamientos para la producción de maíz en una hectárea (ha)	38
16. Análisis de varianza de la altura de la planta de maíz amarillo duro.	48
17. Análisis de variancia de la altura de la mazorca de maíz amarillo duro	48
18. Análisis de varianza del número de plantas de maíz amarillo duro	48
19. Análisis de varianza del número de mazorca de maíz amarillo duro	49
20. Análisis de varianza de la longitud de mazorca de maíz amarillo duro	49
21. Análisis de varianza del diámetro de mazorcas de maíz amarillo duro	49
22. Análisis de varianza del número de hileras de maíz amarillo duro	50

23. Análisis de varianza del número de granos por hilera de maíz amarillo duro	50
24. Análisis de varianza del peso de granos por mazorca de maíz amarillo duro.....	50
25. Análisis de varianza del peso de 100 semillas de maíz amarillo duro	51
26. Análisis de varianza del peso de granos por semilla de maíz amarillo duro.....	51
27. Análisis de varianza del peso de toneladas por hectárea de maíz amarillo duro.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Absorción de macronutrientes para la producción de 7 t/ha ⁻¹ de maíz..	6
2. Remoción de micronutrientes para producir 7 t/ha ⁻¹ . . Maíz para grano (a), paja de maíz (b), maíz para grano (c) y maíz para forraje (d)	7
3. Ciclo del carbono con y sin aplicación de Biochar en el suelo	10
4. Imagen satelital del Google Earth Pro del área de investigación	14
5. Parámetros de evaluación	17
6. Croquis del campo experimental.	20
7. Altura de planta de maíz a diferentes porcentajes de fertilización inorgánica en interacción con la dosis de Biochar	24
8. Biometría de la mazorca a diferentes porcentajes de fertilización inorgánica en interacción con la dosis de Biochar	30
9. Rendimiento (t/ha ⁻¹) de maíz a diferentes porcentajes de fertilización inorgánica en interacción con las dosis de Biochar	34
10. Colocación del cartel de investigación en el área experimental.	52
11. Realizando la medición de altura de la planta en la segunda fertilización	52
12. Tratamiento - testigo	53
13. Tratamiento de 75 % NPK + 50 % de Biochar	53
14. Etapa de floración - testigo	54
15. Etapa de floración - testigo	54
16. Supervisando el campo experimental de maíz en la etapa de floración	55
17. Realizando monitoreo en cada tratamiento	55
18. Visita del Dr. Hugo Huamaní, presidente de jurado de tesis al campo experimental	56
19. Dr. Hugo Huamaní, presidente de jurado de tesis, revisando las mazorcas de maíz amarillo duro	56
20. Análisis de suelos inicial de la parcela experimental	57
21. Análisis del suelo inicial de los 12 tratamiento	58
22. Análisis de suelo final de la parcela experimental	59

DEDICATORIA

Doy gracias a Dios por iluminarme siempre,
guiarme por buenos caminos.

A mis queridos hermanos, Gilder, Lizbeth,
Yossy, Luz, Yajaira y Yadira, por su
incondicional apoyo en cada momento de
mi vida y a mi gran tío Ananías.

A mis queridos padres Edgar Huanca
Melgarejo e Fermina Guzmán Rumaldo con
infinito amor, cariño y eterna gratitud por su
invalorable apoyo y constante orientación
para la realización de la presente tesis.

A mis abuelos, Román Arias y Maximilana
Rumaldo, por ser el motivo y razón de mi
vida.

AGRADECIMIENTOS

- A nuestra Universidad Nacional Agraria de la Selva y en especial a los docentes de la Facultad de Agronomía por transmitirme sus enseñanzas y valores para mi formación profesional.
- A mi asesor Ing. Carlos Miguel Miranda Armas, por sus sugerencias y recomendaciones en la investigación y elaboración del informe de la presente tesis.
- A mis jurados de tesis: al presidente Dr. Hugo Alfredo Huamani Yupanqui y a los vocales Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano e Ing. M. Sc. Luis Fernando García Carrión, por el apoyo mediante sus observaciones y sugerencias para enriquecer el informe de tesis.
- A todos mis familiares, amigos y a aquellas personas que, de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de este trabajo de investigación, hago extensivo mi sincero agradecimiento.
- A mi familia por el préstamo del área de estudio (Fundo “Los Huancas”) para la ejecución de la investigación.

RESUMEN

El experimento se realizó en la localidad de Leoncio Prado, Huánuco, se centró en analizar cómo diferentes cantidades de Biochar afectan la eficacia de la fertilización inorgánica recomendada para la producción de maíz (*Zea mays* L.). Se utilizó un diseño experimental de bloques con un arreglo factorial y se encontró que al combinar dosis de 4 t/ha⁻¹, 4,50 t/ha⁻¹ y 5 t/ha⁻¹ de Biochar con porcentajes de 50 %, 75 % y 100 % de la dosis recomendada del fertilizante inorgánico NPK, se obtuvieron mejoras notables tanto en la biometría como en el rendimiento del maíz, alcanzando entre 9,77 t/ha⁻¹ y 12,56 t/ha⁻¹. Estos resultados sugieren que la interacción entre el fertilizante inorgánico NPK y el Biochar promovió el desarrollo del cultivo. Se evidenció que al aplicar el 75 % de la dosis recomendada de fertilizante NPK junto con Biochar, se obtuvieron rendimientos entre 11,46 t/ha⁻¹ a 12,15 t/ha⁻¹, confirmando la eficacia del Biochar en la mejora de los rendimientos. Asimismo, las dosis de 4,50 t/ha⁻¹ y 5 t/ha⁻¹ de Biochar mostraron los mejores resultados en biometría y producción del maíz. Se determinó que aplicar Biochar al 100 % de la dosis recomendada de fertilizante inorgánico NPK fue la más efectiva para el desarrollo del maíz, aunque la combinación con 75 % de la dosis recomendada junto con Biochar también generó altos rendimientos.

Palabra clave: Carbono activo, niveles de NPK, interacción, fisiología, suelos

ABSTRACT

The experiment was carried out in the town of Leoncio Prado, Huánuco, and focused on analyzing how different amounts of Biochar affect the effectiveness of inorganic fertilization recommended for corn (*Zea mays* L.) production. An experimental block design with a factorial arrangement was used and it was found that by combining doses of 4 t/ha-1, 4,50 t/ha-1 and 5 t/ha-1 of Biochar with percentages of 50 %, 75 % and 100% of the recommended dose of inorganic NPK fertilizer, notable improvements were obtained in both the biometry and yield of corn, reaching between 9.77 t/ha-1 and 12,56 t/ha-1. These results suggest that the interaction between inorganic NPK fertilizer and Biochar promoted crop development. It is evident that by applying 75 % of the recommended dose of NPK fertilizer together with Biochar, yields between 11,46 t/ha-1 and 12,15 t/ha-1 were obtained, confirming the effectiveness of Biochar in improving yields. Likewise, doses of 4,50 t/ha-1 and 5 t/ha-1 of Biochar showed the best results in biometry and corn production. It was decided that applying Biochar at 100 % of the recommended dose of inorganic NPK fertilizer was the most effective for corn development, although the combination with 75 % of the recommended dose together with Biochar also generated high yields.

Keyword: active carbon, levels the NPK, interaction, physiology, soils.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es muy importante para la seguridad alimentaria en el país, donde las principales regiones productoras de este cereal son San Martín, Lima, Lambayeque, La Libertad y Áncash (García, 2020). Sin embargo, a pesar de su importancia, el rendimiento promedio es muy bajo y solo el 30 % de la demanda interna de maíz amarillo duro es abastecida por la producción nacional, por lo que requiere importar 70 % restante para satisfacer la demanda existente (Cillóniz, 2020).

En la zona de Leoncio Prado la producción de maíz es baja y puede atribuirse a varias razones como, la mayoría de los suelos presentan pH inferior a 5,50, lo que resulta en una fijación significativa del fósforo aplicado para los cultivos por parte de hidróxidos de aluminio y hierro, impidiendo la disponibilidad para las plantas; la falta de materia orgánica en el suelo, debido al uso excesivo de insumos sintéticos que afecta negativamente la salud biológica del suelo y, la falta de tecnología agrícola que conduce a prácticas menos eficientes en la agricultura, como la preparación del suelo, siembra, fertilización, control de malezas, plagas y enfermedades; que dificultan la adopción de métodos agrícolas más avanzados y eficientes que ayudan a la mejor producción.

Actualmente se han desarrollado tecnologías que ofrecen soluciones prometedoras para abordar esta problemática; una de estas es la aplicación de Biochar, un subproducto obtenido a través de la pirolisis de biomasa residual, cuya aplicación al suelo podría ser muy efectiva en la restauración de la fertilidad edáfica, secuestro de carbono y la mejora de la eficiencia de los fertilizantes inorgánicos basados en NPK. Asimismo, existen experiencias positivas derivadas de esta práctica, que han revelado mejoras significativas en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, que incrementa de manera notable la productividad de los cultivos en estas áreas afectadas.

Sin embargo, es importante determinar la dosis óptima de biochar con el fin de maximizar los beneficios al aplicar una mezcla de fertilizantes inorgánicos basados en NPK. Es probable que el biochar aumente la eficacia de los fertilizantes, lo que podría permitir una reducción en la cantidad aplicada, dado su carácter orgánico y, no se requiera aplicar 100 % de la cantidad recomendada, debido a una reducción de las pérdidas por fijación y lixiviación, y al mismo tiempo una mejora de las condiciones generales del suelo para el desarrollo del cultivo de maíz.

En la presente investigación se busca contribuir en la solución del problema de exceso de aplicaciones de fertilizantes inorgánicos ya que se vuelven ineficientes debido a varias

razones, principalmente porque la mayoría de suelos presentan un pH bajo, lo que resulta en una alta fijación de nutrientes esenciales como el fósforo por parte de hidróxidos de aluminio y hierro, lo que impide que esté disponible para las plantas de maíz. Además, la baja cantidad de materia orgánica en el suelo limita la capacidad del suelo para retener nutrientes y mantener una estructura saludable. Esto conduce a una baja eficiencia en la absorción de fertilizantes inorgánicos y a un bajo rendimiento de maíz.

Por consiguiente, se plantea la siguiente hipótesis: es factible que la incorporación de al menos una cantidad de Biochar tenga un impacto notable en la eficacia de cierto porcentaje de aplicación de fertilizante inorgánico NPK en la producción de maíz.

Considerante lo expresado, se realizó el siguiente experimento con los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la aplicación de tres dosis de Biochar en combinación con tres porcentajes de fertilizantes a base de NPK sobre la producción del maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) en el caserío Las Vegas, distrito de Daniel Alomía Robles.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar la dosis de Biochar y niveles de fertilización que influyen en el rendimiento del cultivo de maíz.
- Determinar el porcentaje de fertilización con mayor eficiencia en el desarrollo, crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz.
- Realizar el análisis de beneficio/costo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cultivo de maíz en el Perú

El maíz es uno de los cultivos más importantes en extensión en el Perú, se siembran en promedio 520 000 ha/año y más o menos de 82 000 familias dependen económicamente de este cultivo, además la cantidad es mayor en la importación que la exportación (Cillóniz, 2020).

Las principales zonas de producción agrícola se localizan en la costa, con 105 000 hectáreas, y en la selva, con 16 500 hectáreas, abarcando los departamentos de Lambayeque, La Libertad, Áncash, Lima, Ica y Arequipa. Estas áreas se distinguen por el uso de tecnología de media a alta, la siembra de semillas de calidad (híbridas) y una mayor disponibilidad de agua. Por otro lado, en la región de la selva, que incluye los departamentos de San Martín, Loreto, Amazonas, Ucayali y Huánuco, predomina el uso de tecnología básica, semillas de menor calidad y muchas de estas zonas dependen de las lluvias, lo que resulta en rendimientos promedio que oscilan entre 2 y 3 toneladas por hectárea (García, 2020).

2.2. Morfología del maíz

Según Hidalgo (2013); Cruz (2013); Morales (2018), la morfología del maíz que está conformado por:

2.2.1. Raíz

Empiezan brotar sus primeras cuatro y cinco raíces (raíces primarias) desde la semilla, y posteriormente estas raíces se degeneran y son reemplazadas por raíces secundarias, brotan de los primeros ocho o a diez nudos desde la base del tallo; el sistema radicular denso brota a cuatro o cinco nudos por encima del suelo y que son raíces más gruesas.

2.2.2. Tallos

Los nudos y entrenudos constituyen el tallo; los primeros nudos son más gruesos y desde ahí conforman los entrenudos y donde se diferencian de las hojas.

2.2.3. Hojas

Las hojas están distribuidas en el tallo en dos filas alternadas; presentan nerviación paralela y lámina foliar que mide hasta 1.50 m de largo y de ancho 0.10 m.

2.2.4. Floración

De acuerdo con Deras (2012); Flores (2017); López (2017), la planta de maíz produce flores unisexuales femeninas y masculinas, las cuales están agrupadas en dos tipos de inflorescencias:

- **La inflorescencia masculina (penacho):** Se localiza en la parte superior de la planta y se compone de un eje principal del que emergen varias ramas laterales. En estas ramas se ubican las espiguillas, cada una con dos flores encargadas de generar polen.

- **La inflorescencia femenina (mazorca):** Se desarrolla en la zona media del tallo y está rodeada por hojas especializadas llamadas brácteas. Cuenta con un eje central engrosado en el que se insertan las espiguillas, donde las flores femeninas se disponen en dos hileras longitudinales. Al ser una planta alógama, más del 95% de sus flores femeninas se fecundan con polen proveniente de otras plantas de la misma especie.

2.3. Clasificación taxonómica

Según el Sistema Integrado de Información Taxonómica (ITIS, 2021), se cataloga de la siguiente forma:

Reino	: Plantae.
Subreino	: Viridiplantae.
Superdivisión	: Embryophyta.
División	: Tracheophyta.
Clase	: Magnoliopsida.
Orden	: Poales.
Familia	: Poaceae.
Género	: <i>Zea</i> L.
Especie	: <i>Zea mays</i> L.
Nombre común	: Maíz amarillo duro.

2.4. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de maíz

2.4.1. Suelo

La planta de maíz se adapta a distintos tipos de suelos, aunque para un desarrollo óptimo se favorecen los suelos profundos con textura franca, estructura granular, buen drenaje, elevado contenido de materia orgánica y un pH entre 5,50 y 7,80. Los suelos con un pH inferior a 5,50 tienen limitada disponibilidad de nutrientes y pueden generar toxicidad por elementos como el aluminio y el manganeso. (Deras, 2012; Cruz, 2013; Hidalgo, 2013).

2.4.2. Clima

La temperatura debe oscilar entre 20 a 30 °C según las etapas de producción. Durante la germinación y floración se requiere más agua; para una buena producción se requiere de 600 a 700 mm de agua (Deras, 2012; Cruz, 2013; Hidalgo, 2013; Flores, 2017; López, 2017).

2.5. Extracción de nutrientes del cultivo de maíz

2.5.1. Dinámicas de absorción

La densidad de siembra y el suministro de nitrógeno pueden afectar negativamente la eficiencia en la absorción de fósforo, potasio y azufre, ya que la captación de estos macronutrientes en los tejidos de la planta de maíz es diferente para cada uno y varían según la fenología y órgano de la planta. La planta moviliza a algunos nutrientes de un lugar a otro con el fin de reutilizarlos, como por ejemplo el fósforo que se obtiene en el grano proviene de dos fuentes, el 50 % es absorbido del suelo e integrado al grano y el otro 50 % es absorbido antes del llenado del grano, que sirve para otros procesos fisiológicos de los tallos y hojas, para luego disponer el 54 y 74 % del fósforo contenido sea removido al grano. Respecto al azufre, la mayor absorción de 72 % se da en la floración, el 63 % del nitrógeno cosechado en el grano es removido desde los tejidos (Bender, 2012; Mallarino et al., 2013).

En la Figura 1, se muestra más de 50 % de nitrógeno, fósforo y magnesio, y el 80 % de potasio se absorbe antes de la etapa generativa; la planta de maíz requiere en grandes cantidades de nitrógeno en promedio más de 200 kg/ha⁻¹ para una producción de 7 t/ha⁻¹ este proceso incide en el crecimiento de la materia seca y en el rendimiento de la cosecha, mientras se requieren pequeñas cantidades de fósforo en promedio de 85 kg/ha P₂O₅, que se requieren etapas tempranas de desarrollo con el fin de asegurar el desarrollo e impulsar la brotación y follaje. En cuanto potasio absorben aproximadamente 200 kg/ha K₂O, se requiere grandes cantidades similares al nitrógeno, porque la mayoría del potasio se utiliza para el tallo y hojas, el cual ayuda durante la engrosación del tallo, y además una cantidad significativa de potasio se encuentra en el rastrojo y se pierde cuando la planta entera se utiliza como forraje. Respecto a los nutrientes secundarios, requieren en cantidades mínimas, pero los nutrientes de calcio, magnesio y azufre son muy esenciales en la producción, es decir para un rendimiento de 7 t/ha⁻¹ se requiere 25 a 50 kg/ha⁻¹ de estos nutrientes (Yara, 2012).

Niveles de fertilización	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
100%	210.00	86.00	193.00
75%	157.50	64.50	144.75
50%	105.00	43.00	96.50

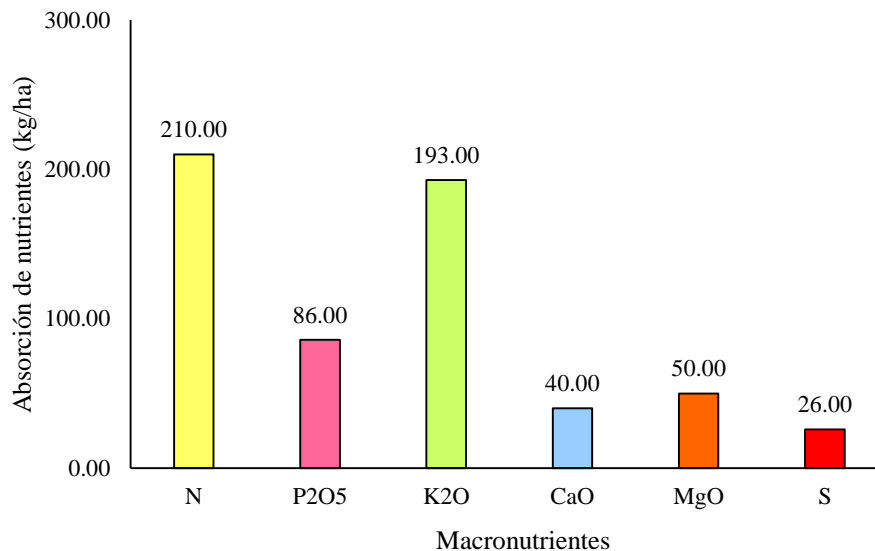


Figura 1. Absorción de macronutrientes para la producción de 7 t/ha⁻¹ de maíz (Yara, 2012)

Fórmula de abonamiento para la producción de 1 hectárea de maíz:

Aplicación de NPK por golpe:

Niveles de fertilización	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
100%	6.80 g.	2.80 g.	6.20 g.
75%	5.10 g.	2.10 g.	4.65 g.
50%	3.40 g.	1.40 g.	3.10 g.

2.5.2. Ritmo y forma de extracción de los nutrientes

Las necesidades nutricionales del maíz varían considerablemente según diferentes estudios. Para obtener 1000 kg de grano se requieren aproximadamente entre 28 y 30 kg de N, 10 a 12 kg de P₂ O₅ y 28 a 30 kg de K₂ O. Durante las etapas vegetativa y reproductiva se produce un notable aumento en la biomasa: en las etapas V10-V14 se incrementa en torno a 432 kg/ha/día, mientras que en las etapas R2 y R4 el incremento es cercano a 467 kg/ha/día. Sin embargo, la fase más crítica para la absorción de nutrientes ocurre durante el estiramiento del tallo (desde la etapa V6 hasta la floración), aunque la extracción inicia en las primeras fases y se intensifica a partir de la cuarta o quinta semana (alrededor de ocho hojas). Por ello, es fundamental aplicar los fertilizantes antes de esta etapa, considerando que la absorción y remoción de nutrientes varía según la variedad, la fenología, el tejido y el órgano de la planta,

ya que aproximadamente el 47 % del total de nitrógeno se extrae en periodos anteriores y posteriores a los 15 días de la floración (Bender, 2012; Mallarino et al., 2013).

Tabla 1. Extracción de macronutrientes en maíces híbridos modernos para un rendimiento promedio de 12 t/ha⁻¹

Nutrientes	Índice de cosecha nutricional (%)	(kg/t)		
		Grano	Paja	Total
N	58,00	13,80	10,00	23,80
P ₂ O ₅	79,00	7,50	2,00	9,50
K ₂ O	33,00	5,60	11,30	16,80
Mg	29,00	1,40	3,50	4,90
S	57,00	1,20	0,90	2,20

Fuente. Bender (2012); Mallarino et al. (2013)

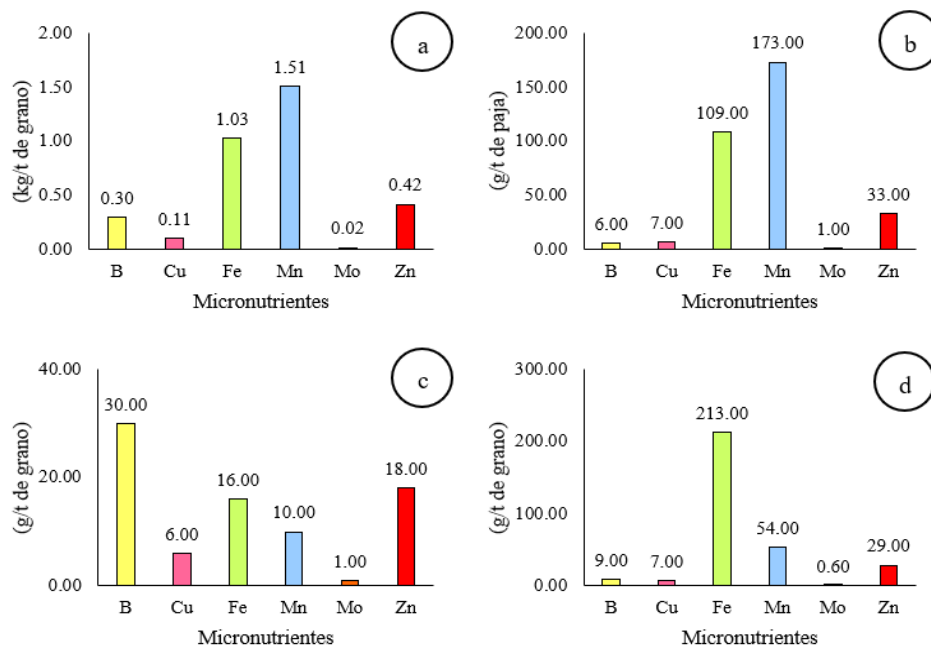


Figura 2. Remoción de micronutrientes para producir 7 t/ha⁻¹. Maíz para grano (a), paja de maíz (b), maíz para grano (c) y maíz para forraje (d) (Yara (2012)

La extracción de macronutrientes y micronutrientes del maíz; el promedio total de 13,80 kg/t de nitrógeno es removido en el grano y 10 kg/t en paja, mientras fósforo, potasio, magnesio y azufre son removidos en poca cantidad. Pero los micronutrientes son más absorbidos en grandes cantidades que se van en grandes cantidades cuando toda la planta se utiliza y es removido del campo. Por otro lado, boro y zinc, son muy importantes, porque se remueven en

grandes cantidades con el grano. Mientras que el zinc se suele aplicar a la semilla antes de la siembra para una buena formación de las raíces y brotes (Tabla 1 y Figura 2) (Yara, 2012).

2.6. Biochar o biocarbón

Se trata de un producto obtenido mediante la pirolisis de materia orgánica, un proceso de descomposición química que se produce al calentar materiales como estiércol, residuos agrícolas, lodos activados y desechos forestales en ausencia de oxígeno (Libra et al., 2011). La palabra pirolisis proviene de “pyr” (fuego) y “lysis” (descomposición) , y describe el mecanismo por el cual un material se descompone químicamente al ser sometido a altas temperaturas en un ambiente completamente carente o con muy poco oxígeno, lo que impide que se produzca una combustión o gasificación significativa. Durante este proceso, las moléculas voluminosas y complejas de carbohidratos, como la celulosa, presentes en la biomasa se fragmentan en moléculas más simples, que pueden manifestarse en forma de gas, líquido o carbón. La pirolisis se realiza en condiciones de vacío o en presencia de un gas inerte, sin la intervención de gases reductores u oxidantes, y en el caso de la madera, los productos resultantes (sólidos, líquidos y gases) varían según factores como la temperatura, la velocidad de calentamiento y el tiempo de residencia. (Bridgewater, 2012).

El biocarbón es grano fino y poroso, en cuanto a la textura es similar al carbono vegetal y las características son parecidas a compost y vermicomposts, pero más estables (Liu, 2015). La mayor producción de este producto se genera a partir de la biomasa residual (agrícola y forestal) y su uso en el suelo pueden ayudar a disminuir la cantidad de CO₂ atmosférico y mitigar los efectos del cambio climático, debido a la función que cumple como sumidero de carbono y al tener carga negativa facilita la adsorción de contaminantes (Fornes et al., 2015).

2.6.1. Composición del Biochar

Está compuesto por carbono, cenizas y materia orgánica volátil, entre otros componentes. Para que tenga un alto potencial de captura de carbono, la materia orgánica volátil debe representar menos del 80 %, la relación O/C debe ser inferior a 0,20 y la relación H/C menor a 0,40. Además, Liu (2015) destaca que este material contiene una considerable cantidad de carbono muy estable, lo que le permite secuestrar carbono cuando se emplea como enmienda; la efectividad dependerá de la calidad y la cantidad adecuada de carbono en relación con el recalcitrante, que favorece una mejor captura. Por otro lado, aunque el carbono lábil puede estimular la mineralización de la materia orgánica, a largo plazo contribuye a la estabilización de los componentes orgánicos biogénicos mediante procesos de adsorción y humificación (Zimmerman, 2011).

La materia prima es un factor esencial que influye en la composición del producto y en la temperatura a la que se produce, ya que el contenido de carbono es inversamente proporcional al rendimiento obtenido. Es decir, cuando se utiliza entre un 56 % y un 93 % de carbono a temperaturas que oscilan entre 300 y 800 °C, el rendimiento se reduce de un 67 % a un 26 %, mientras que el contenido de cenizas aumenta de 0,67 % a 1,26 % a medida que se incrementa la temperatura (Moreno et al., 2014 citado por Andrade y Valdiviezo, 2020) (Moreno et al., 2014 citado por Andrade y Valdiviezo, 2020).

2.6.2. Beneficios del Biochar

Según Adhikari et al. (2009); Lima et al. (2010); Libra et al. (2011); Fornes et al. (2015). Liu (2015). Cueto (2016); Olmo (2016); Andrade y Valdiviezo (2020); Wan et al. (2020), mencionan los siguientes beneficios positivos del Biochar:

- Disminuye el uso de fertilizantes sintéticos de nitrógeno en cultivos; tiene la capacidad de reducir las pérdidas de nitrógeno por lixiviación y emisiones de N₂O (óxido nitroso).
- Reduce la densidad aparente del suelo e incrementar la porosidad y aireación.
- Mejora la retención de nutrientes y agua del suelo.
- Secuestro de carbono, disminuye las emisiones de N₂O y efecto en los niveles de carbono orgánico del suelo y sobre los cultivos.
- Agente estructurante en el compostaje de materiales de origen animal (gallinaza y purines).
- Función de proveer propiedades físicas, químicas y biológicas que permiten el correcto compostaje y dar soporte estructural para prevenir la compactación de la pila de compostaje e incrementar la aireación,
 - Mejora la relación carbono/nitrógeno.
 - Estabiliza la materia orgánica, disminuyendo su degradación y aumenta la humificación y la calidad del compost final.
- Fijación de carbono y de reducción de la concentración de dióxido de carbono atmosférico y de otros gases de efecto invernadero (Figura 3).
- Actúa como sumidero de carbono es por su naturaleza recalcitrante.
- Reduce las emisiones de CO₂ en 68 %.
- Capaces de inmovilizar los metales pesados, compuestos tóxicos que se encuentran en los suelos, reduciendo de esta manera la fitotoxicidad y biodisponibilidad.
- Capacidad de adsorber metales pesados presentes en el agua.
- Logra eliminar los fosfatos con 73 % de remoción.

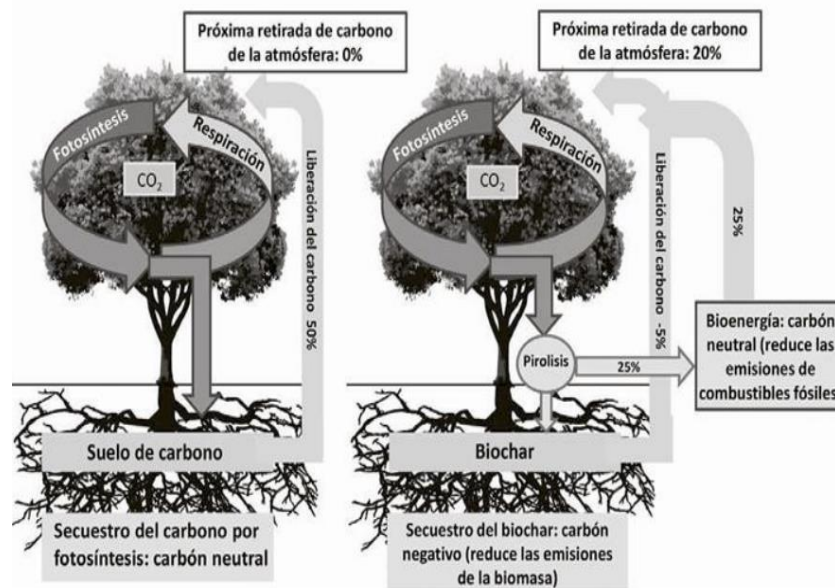


Figura 3. Ciclo del carbono con y sin aplicación de Biochar en el suelo (Cueto (2016)).

2.6.3. Uso del Biochar en la agricultura

El uso del Biochar en la agricultura ayuda a optimizar las propiedades fisicoquímicas del suelo, aumentando su capacidad para retener agua y almacenar carbono. Además, al emplearse como fertilizante de liberación lenta, incorpora nutrientes esenciales como hierro y zinc, lo que favorece el crecimiento de las plantas y mejora su resistencia frente a infecciones bacterianas y fúngicas (Lima et al., 2010; Andrade y Valdiviezo, 2020; Wan et al., 2020).

El Biochar se presenta como una opción prometedora para recuperar suelos contaminados por metales pesados y para mejorar la fertilidad y productividad del suelo. Se caracteriza por contener más del 50 % de carbono orgánico, lo que le confiere una alta estabilidad y permite aumentar significativamente el contenido de materia orgánica, además de secuestrar grandes cantidades de CO_2 (Meddeb et al., 2018). Su pH elevado y su alta microporosidad generan superficies reactivas que facilitan la adsorción de metales pesados mediante mecanismos como el aumento del pH, el intercambio iónico, la adsorción física y la precipitación de oxohidróxidos en combinación con carbonato o fosfat (Glaser et al., 2002).

2.7. Antecedentes

Iglesias et al. (2018), evaluaron el rendimiento del maíz (*Zea mays*) a través del uso del Biochar a base de cortezas de eucalipto, donde obtuvieron buenos rendimientos en grano seco, mejores resultados en el índice foliar, altura y diámetro de la planta, además buena producción de biomasa y aumento en el contenido de proteína en el fruto. Mientras Leveau et al. (2018), evaluaron el uso de Biochar en el balance de nitrógeno en los suelos aluviales como enmiendas,

dando como resultado positivo en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*), además se redujo la pérdida de nitrógeno cuando se aplican al suelo; también recomienda para obtener una comprensión más completa del efecto del Biochar en los nichos para la flora microbiana, se recomienda evaluar su biótica.

De la misma manera Palomino (2018), evaluó la aplicación de Biochar y purín de cerdo, y su efecto en la producción de tres cosechas de rábano (*Raphanus sativus*), donde la aplicación de Biochar modificado facilita la utilización del nitrógeno suministrado por la urea granulada, lo que resulta en un aumento significativo en la producción de biomasa del cultivo de rábano en comparación con el uso de purín de cerdo. El Biochar permite una utilización eficiente de la urea granulada en los cultivos de rábano al retener nutrientes y aumentar la absorción de nitrógeno por parte de la biomasa vegetativa, reduciendo así la pérdida de nutrientes fuera del sistema planta-Biochar-suelo. La aplicación de Biochar, ya sea solo o combinado con urea granulada, puede reducir los requerimientos de nitrógeno de cultivos posteriores hasta por tres cosechas consecutivas.

Campillo (2020), evaluó las respuestas del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) ante la aplicación de Biochar y cuyas conclusiones son: Las plantas de frijol tratadas con Biochar mostraron un desarrollo significativamente más rápido que las plantas cultivadas en suelo sin tratamiento, ya que los parámetros de crecimiento, como altura, tallo, área foliar y materia seca, indicaron un aumento notable en las plantas tratadas. El Biochar se presenta como el más viable para mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo y, por ende, aumentar la producción en el cultivo de frijol. En conclusión, la aplicación de Biochar derivado de residuos de Citrus X sinapsis tiene un efecto positivo en el cultivo de frijol y debe ser considerada como una alternativa prometedora para mejorar la agricultura, especialmente en comparación con el uso de fertilizantes inorgánicos que pueden tener efectos adversos en el medio ambiente.

Mondragón et al. (2021), evaluaron el efecto de la aplicación de Biochar en el rendimiento de maíz (*Zea mays*), al aplicar el Biochar a concentraciones del 1 % y 2 % demostró tener un impacto positivo en el rendimiento del maíz, incrementando la producción en 1,20 y 1,00 t/ha⁻¹. Se observó el peso de la mazorca, la cantidad de grano por planta, el peso del elote, peso seco de la planta, la longitud de la mazorca y el desarrollo lateral de las raíces siguieron la siguiente secuencia: 1 % > 2 % > Testigo. Sin embargo, otras variables no mostraron tendencias claras en respuesta a la aplicación de Biochar. En conclusión, la utilización de Biochar en concentraciones del 1 % y 2 % representa una alternativa viable para incrementar la producción de maíz.

Muñoz (2021), evaluó el efecto de Biochar y fertilizantes sobre las propiedades químicas y físicas del suelo para la producción de arroz (*Oryza sativa*), donde resultó el análisis fisicoquímico del suelo de arroz con diferentes dosis de Biochar reveló niveles elevados de macronutrientes, con la excepción del nitrógeno, que se encontró en niveles bajos. Por otro lado, los micronutrientes mostraron niveles variables, siendo altos, medios o bajos según el caso. El contenido de carbono varió entre el 4,1 % y el 7,1 %, mientras que el pH del suelo osciló entre prácticamente neutro y ligeramente alcalino. La aplicación de Biochar tuvo un impacto positivo en la longitud de las raíces, destacándose la dosis más eficaz que corresponde al 3,0 % de Biochar combinado con una fertilización completa. La combinación de Biochar con una fertilización completa demostró ser efectiva para aumentar el rendimiento del arroz, independientemente de las diferentes dosis de Biochar utilizadas.

Según Soria (2023) examinó el efecto de la aplicación de Biochar en las propiedades del suelo durante la producción de maíz chala; mostrando el uso de Biochar junto con otros insumos agrícolas mejoró significativamente el rendimiento del cultivo de maíz chala en comparación con el tratamiento de control, además se observó un aumento en el contenido de clorofila en las hojas del maíz chala en los tratamientos que combinaron Biochar con otros nutrientes, destacando especialmente la combinación con NPK mostrando valores más altos en varios parámetros de rendimiento, incluyendo biomasa fresca, biomasa seca, índice de área foliar, altura de planta y diámetro de tallo. Asimismo, el pH del suelo se incrementó, mayor contenido de materia orgánica y fósforo extractable.

El estudio de Ramírez (2023) analizó la influencia del Biochar en suelos agrícolas degradados, encontrando que su aplicación produjo cambios significativos en el pH, así como en la disponibilidad de fósforo y potasio, sin afectar de forma relevante la conductividad eléctrica, la materia orgánica, el nitrógeno disponible ni la capacidad de intercambio catiónico. En los tratamientos con Biochar, el pH aumentó entre 0,2 y 0,6 unidades, siendo el incremento más notable en el tratamiento con 50 % de Biochar, el cual también mostró niveles superiores en conductividad eléctrica, potasio y fósforo. Por otro lado, en el tratamiento con 30 % de Biochar se registraron mayores valores de nitrógeno disponible (0,22 %) y de materia orgánica (4,3625 %), mientras que otras variables apenas variaron.

La aplicación conjunta de Biochar y compost suele resultar más efectiva para mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo y aumentar el rendimiento de los cultivos (Agegnehu et al., 2017). En ciertos estudios se han detectado efectos sinérgicos al combinar ambos insumos, lo que contribuye a la mejora agronómica del suelo (Schmidt et al., 2014), y se han obtenido resultados satisfactorios al utilizarlos como sustrato de cultivo (Álvarez et al., 2017).

En las últimas décadas, el uso del material residual carbonoso sólido obtenido mediante la descomposición térmica de la biomasa en ausencia de oxígeno —conocido como Biochar, Biocarbón o BC— se ha consolidado como una opción importante para enfrentar diversos desafíos actuales, tales como el cambio climático derivado de la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI), la degradación de los suelos agrícolas y la consiguiente disminución del rendimiento de los cultivos, en un contexto de creciente demanda agrícola por el aumento de la población (Anand et al., 2022). Además, el uso intensivo de fertilizantes y pesticidas sintéticos ha generado suelos con un ambiente microbiano desfavorable para el desarrollo saludable de las plantas (Wang et al., 2022). La fertilización, pilar esencial de la agroindustria, cuando se realiza en exceso, ha mermado la capacidad del suelo para retener nutrientes y agua, debilitando la inmunidad de las plantas (Yadav et al., 2019).

El Biochar contribuye a mitigar estos problemas, ya que su aplicación como enmienda en el suelo agrícola reduce la emisión de GEI y restaura la calidad del suelo en términos fisicoquímicos y biológicos. Su principal ventaja radica en su capacidad para secuestrar carbono, actuando como un reservorio que almacena este elemento y, por ende, disminuye la liberación de GEI. Un suelo de calidad óptima debe presentar un pH entre 5,5 y 7,0, contar con una cantidad adecuada de materia orgánica humificada, buen drenaje, aireación y retención de humedad, estar libre de sustancias tóxicas y disponer de niveles constantes de macro y micronutrientes esenciales, además de contar con microorganismos especializados que favorezcan el crecimiento de las plantas (Hermans *et al.*, 2020; Li, Y *et al.*, 2020; Anand *et al.*, 2022; Kocsis *et al.*, 2022).

Las características predominantes del Biochar dependen en gran medida de la biomasa utilizada. Por ejemplo, la biomasa de origen leñoso genera un Biochar con una gran área superficial; el que se produce a partir de paja presenta una alta capacidad de intercambio catiónico (CEC); y el obtenido a partir de estiércol animal resulta rico en nitrógeno y fósforo. Además, la temperatura de fabricación influye notablemente en sus propiedades: a unos 500 °C se favorece la obtención de un Biochar con pH elevado, mayor contenido de cenizas y una mayor estabilidad del carbono en el suelo (Ji et al., 2022), mientras que a temperaturas superiores se intensifica la carbonización, eliminando átomos metálicos como Ca, K y Mg, lo que incrementa el contenido total de carbono fijo en el residuo final (Kamali et al., 2022). (Kamali et al., 2022).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción general de la zona de estudio

El campo experimental de la investigación se encuentra a 40 metros del lado derecho de la carretera central Fernando Belaúnde Terry, ubicado en el Fundo "Los Huancas" del caserío Antonio Raymondi Las Vegas, distrito Daniel Alomía Robles, provincia de Leoncio Prado, en la región de Huánuco.

Además, con coordenadas UTM: 401224.75 m, 8983680.46 m y con una altitud 982 m.s.n.m.



Figura 4. Imagen satelital del Google Earth Pro del área de investigación

3.1.1. Clima

El área experimental esta ubicada zona de vida Bosque Muy Húmedo Premontano Tropical (Transicional a Bosque) Ministerio de Agricultura [MINAG] e Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA, 1995).

Las características climáticas en promedio y tomadas como referencia a la estación de La Divisoria; que presenta una temperatura máxima de 30,11°C y la mínima de 20,26°C, humedad promedio mensual varía entre 83,11 % a 86,42 %, la precipitación mensual fluctúa entre los 214,70 mm y los 365,47 mm (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2021).

Tabla 2. Informaciones meteorológicas de la estación Tulumayo – 2021

Meses	Temperatura (°C)			Humedad (%)	Precipitación (mm)
	Máx.	Mín.	Media		
Mayo	30.6	20.5	25.52	83.2	158.90
Junio	29.8	20.4	25.10	83.3	166.90
Julio	30.5	19.0	24.76	80.3	112.50
Agosto	31.0	19.3	25.13	80.4	120.00
Setiembre	31.8	19.8	25.81	80.0	103.50
Octubre	32.4	20.9	26.63	80.8	189.90
Promedio	31.0	20.0	25.5	81.3	141.95

Fuente. SENAMHI (2021)

En la Tabla 2, se muestran la información meteorológica para los meses de mayo a octubre 2021, registrándose promedios de temperatura de 25.5°C, humedad relativa de 81.3 % y precipitación de 141,95 mm, durante los seis meses de investigación.

3.1.2. Suelos

El suelo estudiado presentó una textura franco/arenoso, con un pH alcalino 4,03, un contenido bajo de materia orgánica (1,63 %) y un nivel medio de nitrógeno de 0,08 %. Asimismo, se determinó un contenido de fósforo y potasio disponible de 7,68 ppm y 90,81 ppm, respectivamente. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue de 9.64 meq/100g, conformada por 2,48 meq/100g de calcio, 0,39 meq/100g de magnesio, 0,12 meq/100g de sodio, 5,32 meq/100g de aluminio, 0,86 meq/100g de hidrógeno y 0,46 meq/100g de potasio. Las bases cambiables son de 35,90 % y la acidez cambiante es de 64.01 (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis fisicoquímico del suelo del área de investigación

Parámetros	Cantidad	Método
Arena (%)	66,00	Hidrómetro
Limo (%)	12,00	Hidrómetro
Arcilla (%)	12,00	Hidrómetro
Clase textural	Franco arenoso	Triangulo textural
pH	4,03	Potenciométrico
Materia orgánica (%)	1,63	Walkley y Black
Nitrógeno total (%)	0,08	% M.O. x 0,05
Fósforo disponible (ppm)	7,68	Olsen Modificado
Potasio disponible (ppm)	90,81	Absorción atómica
Ca cambiante (cmol ⁽⁺⁾ kg/ha)	2,48	EAA
Mg cambiante (cmol ⁽⁺⁾ kg/ha)	0,39	EAA
K cambiante (cmol ⁽⁺⁾ kg/ha)	0,46	EAA
Na cambiante (cmol ⁽⁺⁾ kg/ha)	0,12	EAA
Al cambiante (cmol ⁽⁺⁾ kg/ha)	5,32	EAA
H cambiante (cmol ⁽⁺⁾ kg/ha)	0,86	EAA
CIC _e	9,64	
Bases cambiables (%)	35,90	XXX
Acidez cambiante (%)	64,01	XXX
Saturación de aluminio (%)	55,20	XXX

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (2019)

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales y herramientas

- Libreta de campo
- Plumones indelebles
- 01 millar de papel bond A4
- Bolsas de plástico
- Costales de polipropileno (blanco)
- Wincha métrica (100 m)
- Cordeles nylon (100 m)
- Rafia de polipropileno (100 m)
- Estacas de madera (1,00 x 0,02 x 0,02 m)
- Tacarpo de madera (1,50 m)
- Regla métrica de madera (3,00 m)
- Pala derecha
- Azadón
- Machetes

3.2.2. Materiales biológicos e insumos

- Semilla de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.)
- Biochar
- Urea al 46 % N
- Superfosfato triple de calcio (46 % P_2O_5)
- Cloruro de potasio (60 % K_2O)
- Insecticida Kieto (Emamectin benzoate)

3.2.3. Software

- Office
- ArcGIS 10,8
- Google Earth Pro

3.2.4. Equipos

- GPS
- Cámara
- Mochila fumigadora 20 L (marca Jacto)
- Balanza digital electrónico de 100 kg de marca T-Scale
- Medidor de humedad marca Dramninski
- Laptop

3.3. Metodología

3.3.1. Diseño estadístico

Parámetros de evaluación (Figura 5)

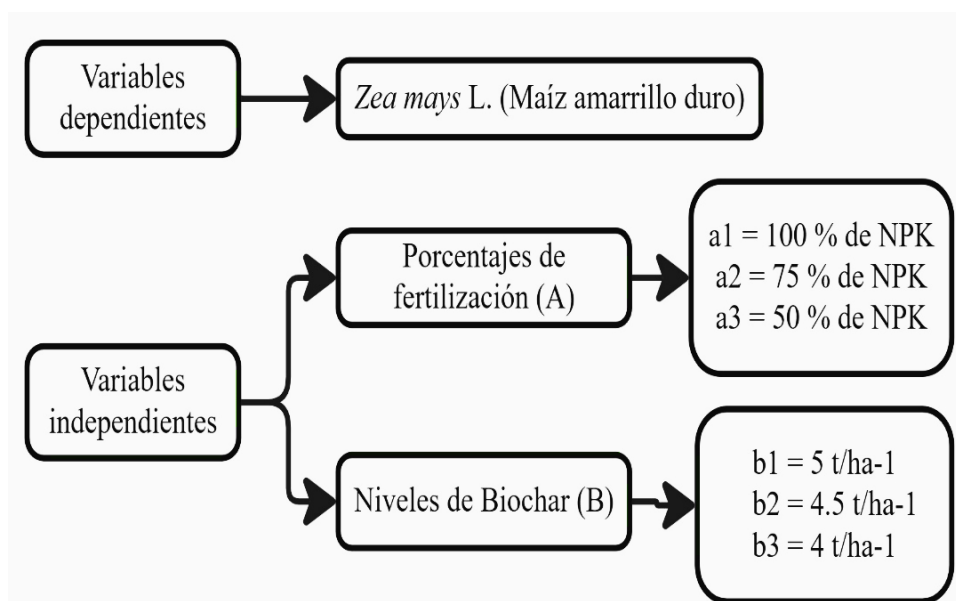


Figura 5. Parámetros de evaluación

3.3.2. Tratamientos

Se realizó con la finalidad de realizar comparaciones con los parámetros de evaluación en base de la variable independiente o es decir en base a la interacción de los factores(niveles) del factor A y factor B (Tabla 4).

Tabla 4. Distribución de los tratamientos

Clave	Interacción	Descripción de los tratamientos
T ₁	a ₁ x b ₁	100 % de NPK + Biochar (5 t/ha ⁻¹)
T ₂	a ₁ x b ₂	100 % de NPK + Biochar (4,50 t/ha ⁻¹)
T ₃	a ₁ x b ₃	100 % de NPK + Biochar (4 t/ha ⁻¹)
T ₄	a ₂ x b ₁	75 % de NPK + Biochar (5 t/ha ⁻¹)
T ₅	a ₂ x b ₂	75 % de NPK + Biochar (4,50 t/ha ⁻¹)
T ₆	a ₂ x b ₃	75 % de NPK + Biochar (4 t/ha ⁻¹)
T ₇	a ₃ x b ₁	50 % de NPK + Biochar (5 t/ha ⁻¹)
T ₈	a ₃ x b ₂	50 % de NPK + Biochar (4,50t/ha ⁻¹)
T ₉	a ₃ x b ₃	50 % de NPK + Biochar (4 t/ha ⁻¹)
T ₁₀	Tratamiento 10	100 % de NPK
T ₁₁	Tratamiento 11	75 % de NPK
T ₁₂	Tratamiento 12	50 % de NPK

3.3.3. Diseño experimental

Se utilizó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial de 3A x 3B más tres testigos. Por lo tanto, el modelo lineal y aditivo, es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_k + C_{ijk} \quad (1)$$

Donde:

Y_{ijk} = Resultado de la unidad experimental (k-ésimo bloque del j-ésimo niveles de biochar con el i-ésimo porcentaje de NPK).

μ = Promedio poblacional general.

ϵ_k = Efecto del j-ésimo bloque.

α_i = Efecto del i-ésimo porcentaje de NPK.

β_j = Efecto del j-ésimo nivel de Biochar.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésima porcentaje de NPK con el j-ésimo nivel de Biochar.

C_{ijk} = Efecto del error experimental aleatorio asociado a dicha observación Y_{ijk} .

3.3.4. Análisis estadístico

Se determinó el ANVA (F. tab. = 0,01 y 0,05), coeficiente de variabilidad y la prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para determinar los contrastes entre las medias de los tratamientos en estudio en las diferentes evaluaciones realizados.

Tabla 5. Análisis de variancia en DBCA

Fuente de variación	GL	SC	CM	F Cal.	F Tab.
T	T-1	SC _{trat}	SC _{trat} /gl _{trat} = CM _{trat}	CM _{trat} /CM _{ee}	F _{α} (gl _{trat} ,gl _{ee})
Bloques	B-1	SC _{bloq}	SC _{bloq} /gl _{bloq} = CM _{bloq}	CM _{bloq} /CM _{ee}	F _{α} (gl _{bloq} ,gl _{ee})
Factorial	(a x b)-1	SC _{tact}	SC _{fact} /gl _{fact} = CM _{fact}	CM _{fact} /CM _{ee}	F _{α} (gl _{tact} ,gl _{ee})
Factor A (%)	a-1	SC _A	SC _A /gl _A = CM _A	CM _A /CM _{ee}	F _{α} (gl _A ,gl _{ee})
Factor B (dosis)	b-1	SC _B	SC _B /gl _B = CM _B	CM _B /CM _{ee}	F _{α} (gl _B ,gl _{ee})
Interacción (A x B)	(a-1) x (b-1)	SC _{AxB}	SC _{AxB} /gl _{AxB} = CM _{AxB}	CM _{AxB} /CM _{ee}	F _{α} (gl _{AxB} ,gl _{ee})
Testigo	t-1	SC _{test}	SC _{test} /gl _{test} = CM _{test}	CM _{test} /CM _{ee}	F _{α} (gl _{trat} ,gl _{ee})
Error experimental.	(T-1) x (B-1)	SC _{ee}	SC _{ee} /gl _{ee} = CM _{ee}		
Total	(T x B)-1	SC _{total}			

T = Tratamientos, B = Bloques, t = Testigos, a = Porcentajes de fertilización inorgánico, b = Dosis de biochar; I= Interacción

El coeficiente de variación (CV) se halló con la siguiente fórmula:

$$CV = \frac{\sqrt{CMe}}{Y} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

CV = Coeficiente de variabilidad.

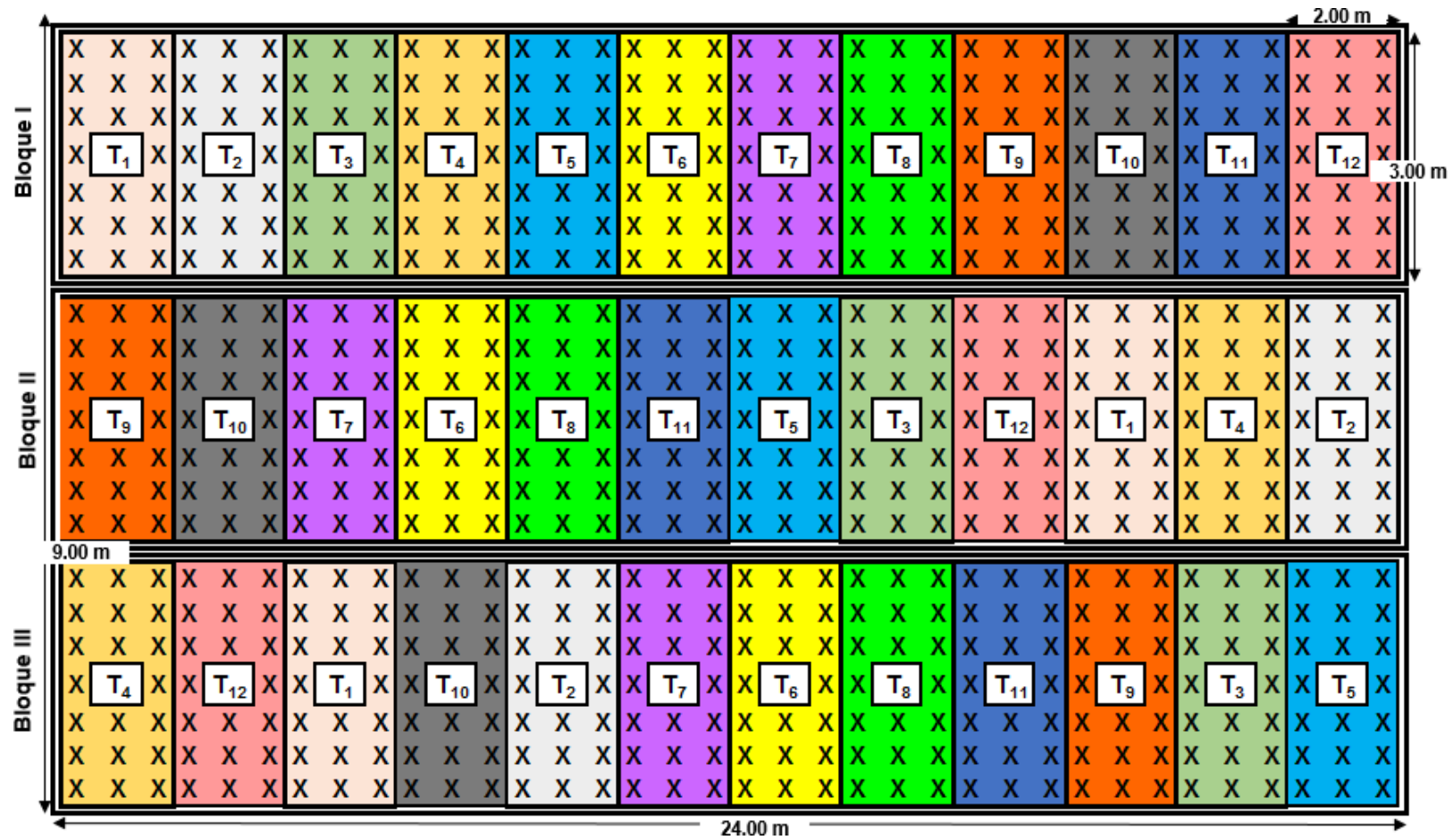
CMe = Cuadrado medio del error.

Y = Promedio total de los tratamientos.

3.3.5. Ejecución del experimento

3.3.5.1. Preparación del campo experimental

En primer lugar, se realizó la limpieza del terreno con machetes, azadones y rastrillo; se apartó los residuos de vegetaciones y se amontonó fuera del campo experimental en un solo lugar y se niveló el terreno con un azadón. Posteriormente se demarco el terreno con rafia y estacas para cada bloque y tratamiento con las medidas de acuerdo con el plano distribución y perimétrico diseñado para el campo experimental (Figura 6), dicha área contiene tres bloques y doce tratamientos cada una. Asimismo, la parcela de investigación está diseñado con orientación de este a oeste con el fin de evitar la insolación de las plántulas de maíz.



T₁ = 100 % de NPK + Biochar (5.00 t/ha)
 T₂ = 100 % de NPK + Biochar (4.50 t/ha)
 T₃ = 100 % de NPK + Biochar (4.00 t/ha)
 T₄ = 75 % de NPK + Biochar (5.00 t/ha)

T₅ = 75 % de NPK + Biochar (4.50 t/ha)
 T₆ = 75 % de NPK + Biochar (4.00 t/ha)
 T₇ = 50 % de NPK + Biochar (5.00 t/ha)
 T₈ = 50 % de NPK + Biochar (4.50 t/ha)

T₉ = 50 % de NPK + Biochar (4.00 t/ha)
 T₁₀ = 100 % de NPK
 T₁₁ = 75 % de NPK
 T₁₂ = 50 % de NPK

Figura 6. Croquis del campo experimental.

3.3.5.3. Siembra de las semillas

La adquisición de híbrido doble de maíz amarillo duro XB-8010 para semilla fue de la empresa agroquímica Agrofer Elí.

Se realizó la siembra manual usando un tacarpo, con una separación de siembra de 40 cm x 80 cm entre hileras y golpes, teniendo un total de 62,500 plantas/ha⁻¹, depositando en cada hoyo de 2 a 3 semillas/golpe a una profundidad de 2 a 3 cm.

3.3.5.4. Prácticas culturales del cultivo

- Fertilización orgánica e inorgánica

Antes de realizar el sembrío se realizó la curación del suelo con dolomita (3kg) y cal agrícola (1.5 kg) por bloque, excepto a los testigos.

La fertilización se realizó de acuerdo Bertsch (2003), donde indica que para obtener una tonelada de grano de maíz seco/ha⁻¹, el cultivo de maíz necesita 25 kg de N, 5 kg de P₂O₅ y 19 kg de K₂O por hectárea. Por lo tanto, en nuestra investigación con la finalidad de obtener una producción de 5 t/ha⁻¹ y basándose en el análisis de suelos se calculó la dosificación de los fertilizantes, los cuales fueron urea, superfosfato triple de calcio, superfosfato tripe de cloruro de potasio fuentes en nitrógeno, fósforo, y potasio. La fertilización se aplicó al 50 %, 75 % y 100 %, el cual se realizó la fertilización en dos etapas:

1ra fertilización: Fue a los 7 días de siembra aplicando todo el fósforo, 50 % de potasio y nitrógeno del total.

2da fertilización: Se llevó a cabo a los 45 días después de la siembra y se aplicó el 50 % de potasio y nitrógeno sobrante del total a aplicar según tratamiento en estudio. El modo de aplicación fue manual, realizando orificios mediante el uso de una varilla de madera a una distancia de 10 cm desde el tallo de las plantas.

- Obtención y aplicación de Biochar

La obtención de sacos de Biochar fue de la empresa agroquímica AGROFER ELÍ. La aplicación se hizo de acuerdo con la disposición de los tratamientos en estudio (Tabla 4) y realizó durante la siembra de la semilla de maíz. Las dosis de aplicación de Biochar fueron 4,00 t/ha⁻¹, 4,50 t/ha⁻¹ y 5,00 t/ha⁻¹ de Biochar, respectivamente (Tabla 4) y, por lo tanto, por golpe de siembra, se aplicó 128 g, 144 g y 160 g de Biochar, respectivamente.

- Deshije y aporque

Pasado los 15 días después de la siembra se realizó el deshije con el objetivo de eliminar plantas blandengues y deformes, dejando solo dos plantas. El aporque se realizó dos veces, en la primera y segunda fertilización.

- Control de malezas

Primeramente, se usó el herbicida selectivo Atrazina (Farmezín 500 SC) como pre emergente a una dosis de 200 ml por 20 L de agua antes de sembrar. Pasado el efecto del herbicida a los 15 y 60 días se realiza un control manual y mecánico. En el campo experimental persistieron malezas de hoja ancha y angosta más comunes como *Amaranthus* spp. (amaranto), *Bidens pilosa* (coquito), *Cynodon dactylon* (pasto grama), *Cyperus rotundus* (coquito), y *Echinochloa colona* (arrocillo).

- Control fitosanitario

El control fitosanitario se realizó a partir de los 7 y 15 días de la siembra usando el insecticida Kieto (Emamectin Benzoate) a una dosis de 100 ml/20 L de agua en el punto de crecimiento de la planta con la finalidad de prevenir daños de *Spodoptera frugiperda* (cogollero). Asimismo, se realizó monitoreos semanales, para verificar si necesita otras aplicaciones químicas.

- Cosecha de las mazorcas

Una vez que los granos completen el ciclo de madurez fisiológica, se empieza extraer las mazorcas y depositados en costales debidamente etiquetadas por tratamiento. Para realizar las evaluaciones de las mazorcas se cosecharon en un área de un metro cuadrado con humedad promedio de 18 %.

3.3.6. Evaluaciones en el campo y laboratorio

3.3.6.1. Altura de planta

Una vez que las plantas lograron la madurez fisiológica; se seleccionó 10 plantas y con regla de madera se midió el desarrollo de la altura a partir del cuello de planta; que anexa al suelo, hasta el nudo donde se inserta la hoja de bandera con el tallo.

3.3.6.2. Altura de mazorca

Después de medir la altura de planta a 10 plantas; se midió con cinta métrica la altura de las mazorcas a partir del cuello de las plantas que anexa con el suelo hasta el nudo donde se encuentra la yema axilar que produce la mazorca superior.

3.3.6.3. Longitud y diámetro de mazorca

Se eligió diez mazorcas de maíz al azar (18 % de humedad en promedio), seguido se midió el tamaño y el diámetro de cada una de las mazorcas.

3.3.6.4. Número de hileras/mazorca

Para contar el número de hileras por mazorcas se seleccionó a diez mazorcas (18 % de humedad en promedio); se contó el número de hileras/mazorca, empezando desde la parte central de la mazorca.

3.3.6.5. Número de granos/hilera

Posterior a contar las hileras por mazorca (18 % de humedad en promedio); se contó el número de granos/hilera de cada mazorca seleccionada.

3.3.6.6. Peso de las mazorcas y peso de los granos por mazorcas

Por cada parcela experimental por bloque en estudio; se llegó a registrar el peso de las mazorcas con tuza/coronta en kg por parcela experimental. Luego se eligió diez mazorcas al azar por parcela/bloque, posteriormente se determinó el peso de cada mazorca y se desgrana y pesa nuevamente en kg.

3.3.6.7. Número de granos para 1,00 kg de semilla

En base al peso de 1000 granos; se calculó con la siguiente fórmula (2) el número de granos que se necesita para 1,00 kg de semilla:

$$NG = \frac{1,00 \text{ kg} \times 1\ 000}{PG} \quad (3)$$

Donde:

NG = Número de granos para 1,00 kg de semilla

PG = Peso de 1 000 granos (kg)

3.3.7. Rendimiento estimado (t/ha^{-1})

El cálculo fue en función a los resultados obtenidos en peso por parcela experimental (72.00 m^2) y transformado a t/ha^{-1} .

3.3.8. Análisis beneficio/costo (B/C)

El análisis de beneficio y costo (B/C) de los tratamientos en estudios se evaluó por el método del “análisis comparativo de ingresos y costos de producción”. Se determina la relación B/C por tratamiento mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Relación de B/C} = \frac{\text{Ingreso bruto}}{\text{Costo de producción}}$$

Para la determinación del ingreso bruto se multiplica la producción de maíz de amarillo duro en 1 ha por el precio 1 kg de maíz en el mercado local. Los cálculos de costos de producción son determinados proyectando a 1 ha y la utilidad se halló en base a la diferencia del ingreso por la venta de 1 kg de maíz con el costo de producción.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Dosis de Biochar y NPK en el rendimiento del cultivo de maíz

4.1.1. Altura de la planta

Los resultados de la aplicación de las dosis de Biochar (Tabla 6 y Figura 7) (0 t/ha^{-1} , $4,00 \text{ t/ha}^{-1}$, $4,50 \text{ t/ha}^{-1}$, $5,00 \text{ t/ha}^{-1}$) y los porcentajes de fertilización (50 % NPK, 75 % NPK y 100 % NPK) muestran el desarrollo favorable de las plantas de maíz con la fertilización inorgánica (NPK) más con la combinación con diferentes dosis de Biochar, donde se refleja mayores resultados en la altura de planta, altura de las mazorcas, número de mazorcas por planta e índice de mazorcas a diferencia del tratamiento sin aplicación del Biochar. Los resultados en el experimento son muy buenos a diferentes dosis se puede atribuirse a varias razones, ya que el Biochar tiene una alta capacidad de adsorción de nutrientes de nitrógeno, fósforo, y potasio presentes en fertilizantes inorgánicos (Adhikari et al., 2009).

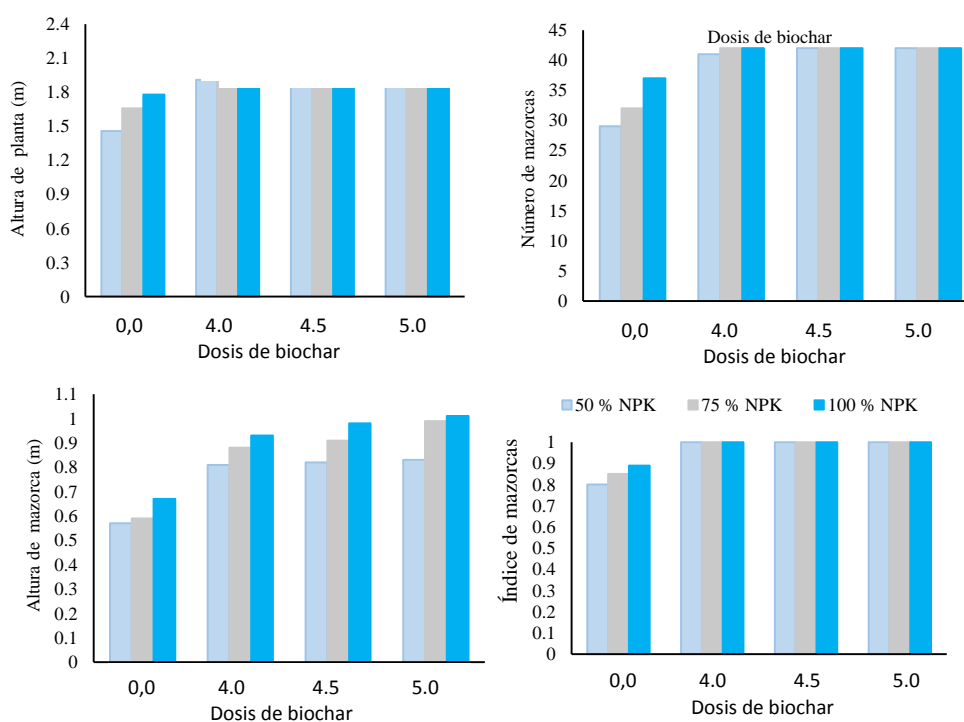


Figura 7. Altura de planta de maíz a diferentes porcentajes de fertilización inorgánica en interacción con las dosis de Biochar.

De la misma manera, Cueto (2016) y Olmo (2016) indica que al agregar Biochar al suelo y mezclar con algún fertilizante; el Biochar ayuda retener y liberarlos gradualmente a medida que la planta lo necesita, esto ayuda optimizar su disponibilidad y absorción adecuada por las plantas de maíz, además gracias a su estructura porosa aumenta la capacidad de intercambio

cati3nico del suelo ayudando a retener y liberar cationes, como calcio, magnesio y potasio, que est3n presentes en el fertilizante inorg3nico. Tambi3n, al ser una grandiosa fuente de carbono, es un excelente sustrato para microorganismos ben3ficos en el suelo lo que favorece a la materia org3nica y residuos del cultivo en su descomposici3n, liberando nutrientes adicionales y mejorando la disponibilidad de nutrientes para las plantas de ma3z (Kamali et al., 2022, Liu, 2015; Zimmerman, 2011).

Tabla 6. Promedio de altura de planta (m), altura de mazorca (m) y n3mero de mazorcas por interacci3n de los factores

Variables biom3tricas	Factores	50 % NPK	75 % NPK	100 % NPK
Altura de planta (m)	Biochar (0,00 t/ha ⁻¹)	1,46	1,66	1,78
	Biochar (4,00 t/ha ⁻¹)	1,91	1,90	1,91
	Biochar (4,50 t/ha ⁻¹)	1,94	1,88	1,95
	Biochar (5,00 t/ha ⁻¹)	1,88	1,93	1,99
Altura de mazorca (m)	Biochar (0,00 t/ha ⁻¹)	0,57	0,59	0,67
	Biochar (4,00 t/ha ⁻¹)	0,81	0,88	0,93
	Biochar (4,50 t/ha ⁻¹)	0,82	0,91	0,98
	Biochar (5,00 t/ha ⁻¹)	0,83	0,99	1,01
N3mero de mazorcas	Biochar (0,00 t/ha ⁻¹)	29,00	32,00	37,00
	Biochar (4,00 t/ha ⁻¹)	41,00	42,00	42,00
	Biochar (4,50 t/ha ⁻¹)	42,00	42,00	42,00
	Biochar (5,00 t/ha ⁻¹)	42,00	42,00	42,00

El an3lisis de varianza presentado (Tabla 7) muestra que no hay diferencias significativas de los bloques en las variables del 3ndice y altura de las mazorcas, pero si mostraron diferencias significativas en cuanto a la altura de planta y n3mero de mazorcas, el cual si muestra una ligera influencia sobre las variables, lo que indicaría que algunos par3metros como propiedades del suelo y entre otros no fueron controlados, que pudieron influenciar en los resultados.

Tabla 7. ANVA ($\alpha = 0,05$) para la altura de la planta de maíz

F.V.	SC	GL	Altura de planta			Altura de mazorca			N° de mazorcas		
			CM	Sig	p-valor	CM	Sig	p-valor	CM	Sig	p-valor
Bloque	0,01	2	0,01	*	0,01	2,50E-04	ns	0,294	6,08	*	0,0444
Tratamiento	0,74	11	0,07	**	<0,0001	0,07	**	<0,0001	62,13	**	<0,0001
NPK	0,08	2	0,04	**	<0,0001	0,06	**	<0,0001	13,08	**	0,0028
Biochar	0,55	3	0,18	**	<0,0001	0,21	**	<0,0001	197,66	**	<0,0001
Biochar + NPK	0,11	6	0,02	**	<0,0001	2,50E-03	**	<0,0001	10,71	**	0,0006
Error	0,02	11	0,00			2,00E-04			1,69		
Total	0,77	35									
C.V. (%)			1,64			1,68			3,28		
R2			0,97			0,99			0,95		

ns: No existe diferencia estadística significativa

* Existe diferencia estadística significativa

** Existe diferencia estadística altamente significativa

Asimismo, se observa diferencias estadísticas altamente significantes en la interacción de los tratamientos en todas las variables de altura de mazorca, número de mazorcas y altura de planta; es decir que los tratamientos muestran unas diferencias muy significativas entre estas variables. Por otro lado, los factores NPK y Biochar en todos los tratamientos exhibieron diferencias altamente significativas en su interacción, es decir que los niveles o tratamientos en base a NPK y Biochar utilizados en el experimento tuvieron un impacto estadísticamente significativo en las características o respuestas que se estaban evaluando.

De acuerdo con el coeficiente de variabilidad, las variables resultaron menor al 5%, lo que indica una excelente consistencia, confiabilidad y homogeneidad entre las unidades experimentales de cada tratamiento (Reyes, 2010); y mientras según el coeficiente de determinación (R^2), las variables evaluadas fueron superiores a 0.90, indicando que es correlación positiva entre resultados obtenidos en cada variable evaluada (Martínez, 2012).

La prueba de Duncan (Tabla 8) muestra que los resultados de los tratamientos T₁₀ (100 % de NPK), T₁₁ (75 % de NPK) y T₁₂ (50 % de NPK) no son tan consistentes en todas las variables, pero el tratamiento T₁ (100 % de NPK + Biochar (5,00 t/ha-1)) si muestra mayor significancia en la altura de mazorca y planta comparando los otros tratamientos evaluados. Además, se constató que en las variables número de mazorcas, los tratamientos que incluían Biochar mostraron valores estadísticamente similares y superiores a los registrados por los tratamientos T₁₀, T₁₁ y T₁₂. Lo que indica la presencia y cantidad de Biochar en combinación con los nutrientes NPK parecen haber tenido un impacto significativo en la biometría de las plantas de maíz. Estos resultados positivos en la investigación coinciden con Soria (2023), quien reportó la combinación de Biochar con un fertilizante en base a NPK en la producción de maíz chala, mostrando mejores resultados en rendimiento, biomasa fresca, biomasa seca, índice de altura de planta, área foliar y grosor de talla; además se evidenció que utilizar Biochar en combinación con compost y NPK, mejoró significativamente los índices de materia orgánica, fósforo y pH disponible en el suelo. Asimismo, Leveau et al. (2018) el Biochar en suelos aluviales incrementa el rendimiento del maíz; mientras que Mondragón et al. (2021), dice que la aplicación de Biochar a 1 % y 2 % incrementan el rendimiento del maíz de manera significativa mejorando las variables biométricas de la planta, además acrecienta su capacidad de retención de agua y nutrientes mejorando la estructura del suelo, facilita a las plantas la absorción de los nutrientes esenciales presentes en el NPK (Meddeb et al., 2018; Wan et al., 2020); también es un sustrato para microorganismos que ayuda mejorar la actividad microbiana y descomposición de materia orgánica (Adhikari et al., 2009) (Andrade y Valdiviezo, 2020).

Tabla 8. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) de la altura de la planta de maíz

Altura de planta (m)			Altura de mazorca (m)			N° de plantas					
Trat	Media	Sig	Trat	Media	Sig	Trat	Media	Sig	Trat	Media	Sig
T ₁	1,99 ± 0,02	a	T ₁	1,01 ± 0,01	a	T ₁	42,00 ± 0,47	a	T ₁	42,00 ± 0,75	a
T ₂	1,95 ± 0,02	ab	T ₄	0,99 ± 0,01	ab	T ₂	42,00 ± 0,47	a	T ₂	42,00 ± 0,75	a
T ₈	1,94 ± 0,02	abc	T ₂	0,98 ± 0,01	b	T ₃	42,00 ± 0,47	a	T ₃	42,00 ± 0,75	a
T ₃	1,91 ± 0,02	bc	T ₃	0,93 ± 0,01	c	T ₄	42,00 ± 0,47	a	T ₄	42,00 ± 0,75	a
T ₄	1,93 ± 0,02	bc	T ₅	0,91 ± 0,01	d	T ₅	42,00 ± 0,47	a	T ₅	42,00 ± 0,75	a
T ₆	1,90 ± 0,02	bc	T ₆	0,88 ± 0,01	e	T ₆	42,00 ± 0,47	a	T ₆	42,00 ± 0,75	a
T ₉	1,91 ± 0,02	bc	T ₇	0,83 ± 0,01	f	T ₇	42,00 ± 0,47	a	T ₇	42,00 ± 0,75	a
T ₅	1,88 ± 0,02	c	T ₈	0,82 ± 0,01	f	T ₈	42,00 ± 0,47	a	T ₈	42,00 ± 0,75	a
T ₇	1,88 ± 0,02	c	T ₉	0,81 ± 0,01	f	T ₉	41,33 ± 0,47	a	T ₉	41,33 ± 0,75	a
T ₁₀	1,78 ± 0,02	d	T ₁₀	0,67 ± 0,01	g	T ₁₀	41,00 ± 0,47	a	T ₁₀	36,67 ± 0,75	b
T ₁₁	1,66 ± 0,02	e	T ₁₁	0,59 ± 0,01	h	T ₁₁	37,67 ± 0,47	b	T ₁₁	32,00 ± 0,75	c
T ₁₂	1,46 ± 0,02	f	T ₁₂	0,57 ± 0,01	h	T ₁₂	36,00 ± 0,47	c	T ₁₂	29,00 ± 0,75	d

Tratamientos representados con la misma letra, indica que no existe diferencias significativas al 5 % de probabilidad.

Leyenda:

T₁ = 100 % de NPK + Biochar (5,00 t/ha⁻¹) T₇ = 50 % de NPK + Biochar (5,00 t/ha⁻¹)

T₂ = 100 % de NPK + Biochar (4,50 t/ha⁻¹) T₈ = 50 % de NPK + Biochar (4,50 t/ha⁻¹)

T₃ = 100 % de NPK + Biochar (4,00 t/ha⁻¹) T₉ = 50 % de NPK + Biochar (4,00 t/ha⁻¹)

T₄ = 75 % de NPK + Biochar (5,00 t/ha⁻¹) T₁₀ = 100 % de NPK

T₅ = 75 % de NPK + Biochar (4,50 t/ha⁻¹) T₁₁ = 75 % de NPK

T₆ = 75 % de NPK + Biochar (4,00 t/ha⁻¹) T₁₂ = 50 % de NPK

4.1.2. Biometría de la mazorca

La biometría de las mazorcas es mejor a medida que aumenta la dosis de Biochar más la fertilización con 50, 75 y 100% de NPK; lo que indica a dosis más altas de Biochar ayudan positivamente a la biometría de las mazorcas bajo esos porcentajes de fertilización (Tabla 9).

Tabla 9. Biometría de las mazorcas de maíz con interacción de los de los factores

Variables biométricas	Factores	100 % NPK	75 % NPK	50 % NPK
Longitud de mazorca (cm)	Biochar (0,00 t/ha ⁻¹)	16,74	15,66	14,14
	Biochar (4,00 t/ha ⁻¹)	19,82	19,31	13,30
	Biochar (4,50 t/ha ⁻¹)	19,96	19,87	15,58
	Biochar (5,00 t/ha ⁻¹)	20,10	20,05	16,83
Diámetro de mazorca (cm)	Biochar (0,00 t/ha ⁻¹)	5,00	4,84	4,82
	Biochar (4,00 t/ha ⁻¹)	5,22	5,18	5,12
	Biochar (4,50 t/ha ⁻¹)	5,21	5,22	5,18
	Biochar (5,00 t/ha ⁻¹)	5,24	5,23	5,20
Hileras por mazorca	Biochar (0,00 t/ha ⁻¹)	12,00	12,00	12,00
	Biochar (4,00 t/ha ⁻¹)	14,00	14,00	13,20
	Biochar (4,50 t/ha ⁻¹)	14,00	14,00	14,00
	Biochar (5,00 t/ha ⁻¹)	14,00	14,00	14,00

De la misma manera, en la Figura 8 se visualiza la dosificación de Biochar en interacción con los distintos de porcentajes de fertilización, llegaron a influir a obtener mazorcas de maíz con mejor biometría en comparación a las mazorcas obtenidos solo con fertilización inorgánica.

Este hallazgo, es posible a la accesibilidad de nutrientes fundamentales para el desarrollo de la mazorca de maíz, porque una fertilización adecuada proporciona a la planta los nutrientes necesarios para un crecimiento óptimo de las mazorcas (Mallarino et al., 2011; Bender, 2012). Gracias a esto nutrientes esenciales brindado por la dosis de Biochar podría tener buen sistema radicular, desarrollo adecuado y producción calidad del maíz; el incremento de cantidad de granos por hileras también se debe a la polinización eficiente (Adhikari et al. (2009); Lima et al. (2010); Libra et al. (2011); Fornes et al. (2015). Liu (2015). Cueto (2016); Olmo (2016); Andrade y Valdiviezo (2020); Wan et al. (2020)).

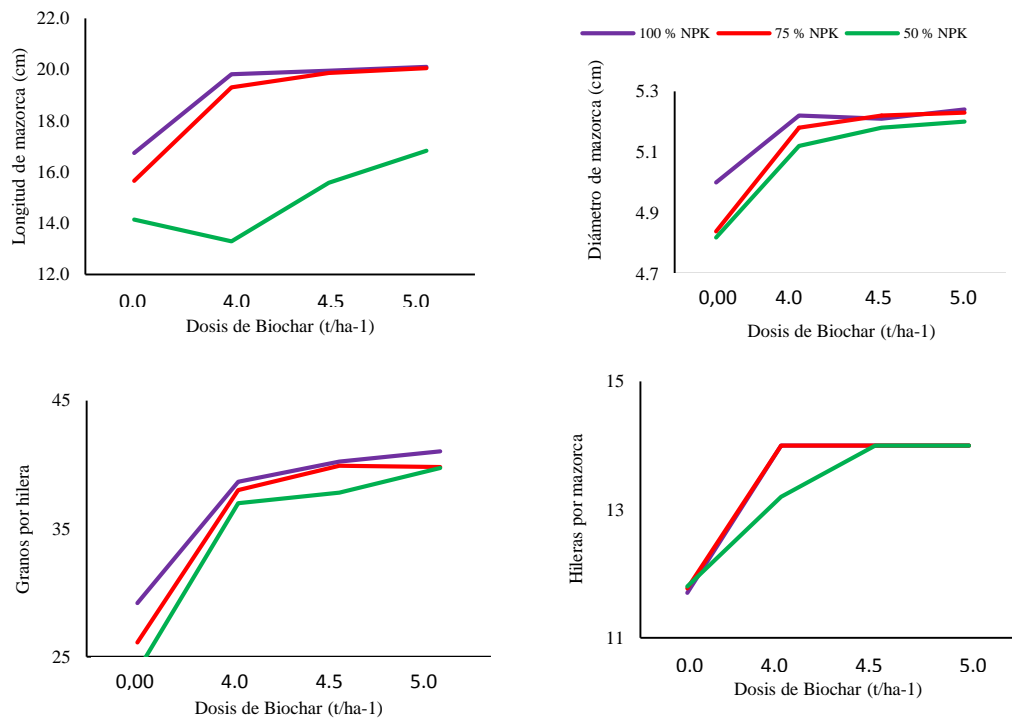


Figura 8. Biometría de la mazorca a diferentes porcentajes de fertilización inorgánica en interacción con las dosis de Biochar

Tabla 10. Análisis de varianza ($\alpha = 0,05$) de la biometría de las mazorcas

F.V.	gl	Longitud de mazorca		Diámetro de mazorca		Hileras por mazorca		Granos por hilera	
		CM	Sig	CM	Sig	CM	Sig	CM	Sig
Bloque	2	0,05	ns	1,70E-04	ns	0,04	ns	0,06	ns
Tratamiento	11	19,22	**	0,07	**	3,01	**	106,95	**
NPK	2	63,80	**	0,02	**	0,14	**	21,47	**
Biochar	3	21,19	**	0,23	**	10,60	**	372,04	**
Biochar + NPK	6	3,37	**	0,01	**	0,17	**	2,90	**
Error	11	0,18		2,80E-04		0,01		0,44	
Total	35								
C.V. (%)		2,41		0,33		0,66		1,85	
R ²		0,98		0,99		0,99		0,99	

ns: No existe diferencia estadística significativa

* Existe diferencia estadística significativa

** Existe diferencia estadística altamente significativa

Tabla 11. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para la biometría de las mazorcas

Longitud de mazorca (cm)			Diámetro de mazorca (cm)			Hileras por mazorca			Granos por hilera		
Trat	Media	Sig	Trat	Media	Sig	Trat	Media	Sig	Trat	Media	Sig
T ₁	20,10 ± 0,24	a	T ₁	5,24 ± 0,01	a	T ₁	14,00 ± 0,05	a	T ₁	41,03 ± 0,38	a
T ₂	19,96 ± 0,24	a	T ₃	5,22 ± 0,01	ab	T ₂	14,00 ± 0,05	a	T ₂	40,23 ± 0,38	ab
T ₃	19,82 ± 0,24	a	T ₄	5,23 ± 0,01	ab	T ₃	14,00 ± 0,05	a	T ₅	39,90 ± 0,38	ab
T ₄	20,05 ± 0,24	a	T ₅	5,22 ± 0,01	ab	T ₄	14,00 ± 0,05	a	T ₄	39,80 ± 0,38	bc
T ₅	19,87 ± 0,24	a	T ₂	5,21 ± 0,01	abc	T ₅	14,00 ± 0,05	a	T ₇	39,73 ± 0,38	bc
T ₆	19,31 ± 0,24	a	T ₇	5,20 ± 0,01	bc	T ₆	14,00 ± 0,05	a	T ₃	38,67 ± 0,38	cd
T ₇	16,83 ± 0,24	b	T ₆	5,18 ± 0,01	c	T ₇	14,00 ± 0,05	a	T ₆	38,00 ± 0,38	de
T ₁₀	16,74 ± 0,24	b	T ₈	5,18 ± 0,01	c	T ₈	14,00 ± 0,05	a	T ₈	37,80 ± 0,38	de
T ₈	15,58 ± 0,24	c	T ₉	5,12 ± 0,01	d	T ₉	13,20 ± 0,05	b	T ₉	37,00 ± 0,38	e
T ₁₁	15,66 ± 0,24	c	T ₁₀	5,00 ± 0,01	e	T ₁₀	11,70 ± 0,05	c	T ₁₀	29,20 ± 0,38	f
T ₁₂	14,14 ± 0,24	d	T ₁₁	4,84 ± 0,01	f	T ₁₁	11,77 ± 0,05	c	T ₁₁	26,13 ± 0,38	g
T ₉	13,30 ± 0,24	e	T ₁₂	4,82 ± 0,01	f	T ₁₂	11,80 ± 0,05	c	T ₁₂	23,90 ± 0,38	h

Tratamientos representados con la misma letra, indica que no existe diferencias significativas al 5 % de probabilidad.

Leyenda:

T₁ = 100 % de NPK + Biochar (5,00 t/ha⁻¹) T₇ = 50 % de NPK + Biochar (5,00 t/ha⁻¹)

T₂ = 100 % de NPK + Biochar (4,50 t/ha⁻¹) T₈ = 50 % de NPK + Biochar (4,50 t/ha⁻¹)

T₃ = 100 % de NPK + Biochar (4,00 t/ha⁻¹) T₉ = 50 % de NPK + Biochar (4,00 t/ha⁻¹)

T₄ = 75 % de NPK + Biochar (5,00 t/ha⁻¹) T₁₀ = 100 % de NPK

T₅ = 75 % de NPK + Biochar (4,50 t/ha⁻¹) T₁₁ = 75 % de NPK

T₆ = 75 % de NPK + Biochar (4,00 t/ha⁻¹) T₁₂ = 50 % de NPK

De acuerdo con el análisis de varianza (Tabla 10), los bloques no revelaron diferencias significativas en las variables, pero si muestran diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en las variables evaluadas; es decir, al menos un tratamiento es diferente significativamente al resto en las diferentes evaluaciones realizadas. Asimismo, tanto los factores de los niveles de NPK y Biochar, así como su interacción (NPK*Biochar), mostraron diferencias altamente significativas en todas las variables, lo que sugiere que tanto el nivel de NPK como el nivel de Biochar podrían haber tenido un impacto independiente en estas variables. En cuanto al coeficiente de variabilidad son menores al 5 %, mostrando una buena consistencia y uniformidad en los experimentos de cada tratamiento.

De acuerdo a la prueba de Duncan (Tabla 11) estadísticamente, los tratamientos T₁₀ (100 % de NPK), T₁₁ (75 % de NPK) y T₁₂ (50 % de NPK) obtuvieron resultados inferiores en comparación con los tratamientos en las variables de longitud de mazorca, diámetro de mazorca, hileras por mazorca y granos por hilera de maíz; mientras los demás tratamientos, en general, lograron efectos estadísticamente iguales en las variables evaluadas en mención. Sin embargo, los tratamientos T₁ (100 % de NPK + Biochar (5,00 t/ha⁻¹)), T₂ (100 % de NPK + Biochar (4,50 t/ha⁻¹)) y T₄ (75 % de NPK + Biochar (5,00 t/ha⁻¹)), destacan estadísticamente por encima de los demás tratamientos en casi en todas las variables evaluadas, probablemente debido a las altas dosis de Biochar aplicado en conjunto con el mayor porcentaje de fertilización que fue del 100 %.

Los resultados observados sugieren que la combinación de altas dosis de Biochar con un mayor porcentaje de fertilización de NPK (100 %), condujo a un mejor desempeño en varias variables relacionadas con la producción de mazorcas de maíz. Es muy probable que el Biochar, al ser agregado al suelo, pudo mejorar sus propiedades y aumentar su capacidad para retener nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos, que resultaron beneficioso en la absorción de nutrientes por parte de las plantas de maíz, que ayuda a la maduración fenológica del cultivo.

Según Schmidt et al. (2014) y Álvarez et al. (2017), el Biochar al promover el crecimiento radicular más desarrollado, permite una buena atracción de agua y nutrientes, que ayuda a un progreso adecuado y buena producción de mazorcas.

4.1.3. Rendimiento del cultivo de maíz

En la Tabla 12 y Figura 9 muestra los tratamientos en base a la interacción entre los diferentes porcentajes de aplicación de las dosis recomendada en base a NPK en interacción con 4,00 t/ha⁻¹, 4,50 t/ha⁻¹ y 5,00 t/ha⁻¹ de Biochar, respectivamente; obtuvieron rendimientos que oscilaron entre 9,77 t/ha⁻¹ a 12,56 t/ha⁻¹; también, se evidencia la aplicación del 50 % y 75

% de la cantidad total de la dosis de NPK recomendada sin Biochar, alcanzaron rendimientos significativamente más bajos que los demás tratamientos con 3,70 t/ha-1 y 4,48 t/ha-1, respectivamente. Este rendimiento se podría justificarse que, al reducir la dosis de fertilizante, puede limitar la disposición de nutrientes esenciales para el crecimiento del cultivo de maíz (Mallarino et al., 2011). De la misma manera Bender (2012), menciona que al no aplicar el biochar puede afectar la accesibilidad de nutrientes por parte del cultivo de maíz; y así exista un desbalance nutricional afectando el crecimiento deficiente de las plantas y menor producción de granos de maíz.

Tabla 12. Promedios de los granos evaluados por mazorca, peso de 100 semillas, pesos de granos por parcela y rendimiento por interacción de los factores

Variables biométricas	Factores	100 % NPK	75 % NPK	50 % NPK
Granos por mazorca	Biochar (0,00 t/ha ⁻¹)	111,30	94,08	85,80
	Biochar (4,00 t/ha ⁻¹)	188,38	183,31	158,81
	Biochar (4,50 t/ha ⁻¹)	196,50	193,91	174,63
	Biochar (5,00 t/ha ⁻¹)	200,90	194,38	184,04
Peso de 100 semillas (g)	Biochar (0,00 t/ha ⁻¹)	39,30	36,90	36,63
	Biochar (4,00 t/ha ⁻¹)	40,60	40,20	38,33
	Biochar (4,50 t/ha ⁻¹)	40,70	40,50	38,50
	Biochar (5,00 t/ha ⁻¹)	40,80	40,70	38,60
Peso de granos por parcela (kg)	Biochar (0,00 t/ha ⁻¹)	4,08	3,01	2,49
	Biochar (4,00 t/ha ⁻¹)	7,91	7,70	6,56
	Biochar (4,50 t/ha ⁻¹)	8,25	8,14	7,34
	Biochar (5,00 t/ha ⁻¹)	8,44	8,16	7,73
Rendimiento (t/ha)	Biochar (0,00 t/ha ⁻¹)	6,07	4,48	3,70
	Biochar (4,00 t/ha ⁻¹)	11,77	11,46	9,77
	Biochar (4,50 t/ha ⁻¹)	12,28	12,12	10,92
	Biochar (5,00 t/ha ⁻¹)	12,56	12,15	11,50

Este rendimiento obtenido se encuentra dentro del rango de los rendimientos de grano de maíz reportados por López (2017); Flores (2017) y Morales (2018) que oscila entre 8 a 10 t/ha⁻¹ en promedio. Además, respalda la aplicación de dosis mayores a 4,35 t/ha⁻¹ de Biochar ayuda a mayor eficiencia de la aplicación de fertilizantes inorgánicos a base de NPK.

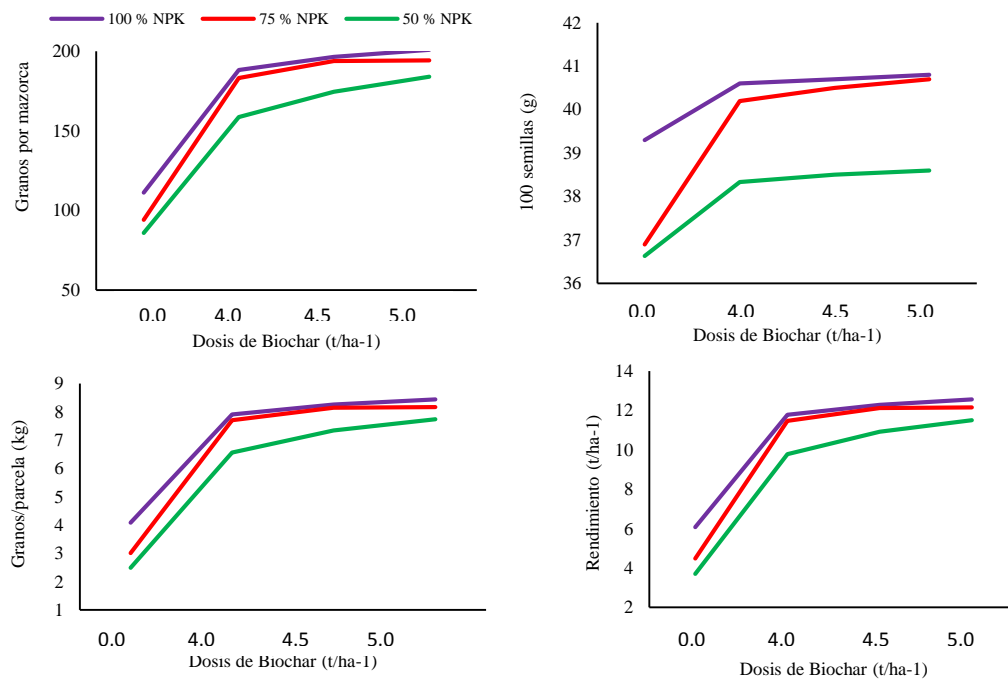


Figura 9. Rendimiento (t/ha^{-1}) de maíz a diferentes porcentajes de fertilización inorgánica en interacción con las dosis de Biochar

La aplicación de dosis altas de Biochar en combinación con aplicaciones de 75 % y 100 % de la cantidad recomendada de fertilizante en base a NPK, alcanzaron altos rendimientos entre 11,46 a 12,56 t/ha^{-1} . Estos resultados de la investigación coinciden con Iglesias et al. (2018), quienes hallaron que los tratamientos con Biochar superaron al tratamiento fertilizado en peso de grano seco, índice de área foliar y desarrollo de las plantas; de la misma manera Leveau et al. (2018) menciona que el uso de Biochar en suelos aluviales mejoró el rendimiento del maíz y redujo la pérdida de nitrógeno y Mondragón et al. (2021), la aplicación de Biochar en concentraciones del 1 % y 2 % aumentó el rendimiento del maíz.

Por otro lado, el Biochar también sirve para otros cultivos como lo indica estos autores Palomino (2018), el Biochar combinado con urea granulada, aumentó significativamente la producción de rábanos al mejorar la absorción de nitrógeno por la biomasa vegetativa; Campillo (2020) observó un desarrollo más rápido en plantas de frijol tratadas con Biochar, y optimizó las propiedades del suelo y aumentar la rendimiento y finalmente Muñoz (2021) concluyó que el Biochar corrigió las propiedades del suelo y incrementó el rendimiento del arroz.

Los bloques no mostraron diferencias significativas en las variables, pero se evidencia contrastes estadísticos significativas entre los procedimientos en todas las variables evaluadas; en cuanto en los niveles de los factores NPK y Biochar, así como su interacción (Biochar + NPK), exhibieron diferencias altamente significativas en estas cuatro variables estudiadas (Tabla 13).

Tabla 13. ANVA ($\alpha = 0,05$) para el peso de los granos por mazorca, peso de 100 semillas, peso de granos por parcela y rendimiento (t/ha) del cultivo de maíz.

F.V.	SC	gl	Peso granos por mazorca			Peso de 100 semillas			Peso granos por parcela			T/ha		
			CM	Sig	p-valor	CM	Sig	p-valor	CM	Sig	p-valor	CM	Sig	p-valor
Bloque	20,56	2	10,28	ns	0,2852	0,02	ns	0,4887	0,04	ns	0,486	0,04	ns	0,8054
Tratamiento	58577,94	11,00	5325,27	**	<0,0001	14,14	**	<0,0001	31,29	**	<0,0001	6,83	**	<0,0001
NPK	3418,97	2	1709,48	**	<0,0001	4	**	<0,0001	8,85	**	<0,0001	16,95	**	<0,0001
Biochar	54772,52	3	18257,51	**	<0,0001	48,71	**	<0,0001	107,83	**	<0,0001	11,76	**	<0,0001
Biochar + NPK	386,46	6	64,41	**	0,0001	0,23	**	<0,0001	0,5	**	0,0001	1	**	0,0009
Error	170,17	22	7,74			0,02			0,06			0,17		
Total	58768,67	35												
C.V. (%)			1,70			2,38			2,39			1,05		
R ²			1,00			1,00			1,00			0,95		

ns: No existe diferencia estadística significativa

** Existe diferencia estadística altamente significativa

Tabla 14. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para el peso de granos por mazorca, peso de 100 semillas, peso de los granos por parcela y rendimiento (t/ha) en el cultivo de maíz

Peso granos/mazorca (g)			Peso de 100 semillas (g)			Peso granos/parcela (kg)			Rendimiento (t/ha)		
Trat	Media	Sig	Trat	Media	Sig	Trat	Media	Sig	Trat	Media	Sig
T ₁	200,9 ± 1,61	a	T ₁	40,80 ± 0,24	a	T ₁	8,44 ± 0,09	a	T ₁	12,56 ± 0,14	a
T ₂	196,50 ± 1,61	ab	T ₂	40,70 ± 0,24	a	T ₂	8,25 ± 0,09	ab	T ₂	12,28 ± 0,14	ab
T ₄	194,38 ± 1,61	b	T ₃	40,60 ± 0,24	a	T ₄	8,16 ± 0,09	abc	T ₄	12,15 ± 0,14	abc
T ₅	193,91 ± 1,61	b	T ₄	40,70 ± 0,24	a	T ₅	8,14 ± 0,09	bc	T ₅	12,12 ± 0,14	bc
T ₃	188,38 ± 1,61	c	T ₅	40,50 ± 0,24	a	T ₃	7,91 ± 0,09	cd	T ₃	11,77 ± 0,14	cd
T ₇	184,04 ± 1,61	cd	T ₆	40,20 ± 0,24	a	T ₆	7,70 ± 0,09	d	T ₆	11,46 ± 0,14	d
T ₆	183,31 ± 1,61	d	T ₁₀	39,30 ± 0,24	b	T ₇	7,73 ± 0,09	d	T ₇	11,50 ± 0,14	d
T ₈	174,63 ± 1,61	e	T ₇	38,60 ± 0,24	c	T ₈	7,34 ± 0,09	e	T ₈	10,92 ± 0,14	e
T ₉	158,81 ± 1,61	f	T ₈	38,50 ± 0,24	c	T ₉	6,56 ± 0,09	f	T ₉	9,77 ± 0,14	f
T ₁₀	111,30 ± 1,61	g	T ₉	38,33 ± 0,24	c	T ₁₀	4,08 ± 0,09	g	T ₁₀	6,07 ± 0,14	g
T ₁₁	94,08 ± 1,61	h	T ₁₁	36,90 ± 0,24	d	T ₁₁	3,01 ± 0,09	h	T ₁₁	4,48 ± 0,14	h
T ₁₂	85,80 ± 1,61	i	T ₁₂	36,63 ± 0,24	d	T ₁₂	2,49 ± 0,09	i	T ₁₂	3,70 ± 0,14	i

Tratamientos unidos con la misma letra, indica que no existe diferencias significativas al 5 % de probabilidad.

Leyenda:

T₁ = 100 % de NPK + Biochar (5,00 t/ha⁻¹) T₇ = 50 % de NPK + Biochar (5,00 t/ha⁻¹)

T₂ = 100 % de NPK + Biochar (4,50 t/ha⁻¹) T₈ = 50 % de NPK + Biochar (4,50 t/ha⁻¹)

T₃ = 100 % de NPK + Biochar (4,00 t/ha⁻¹) T₉ = 50 % de NPK + Biochar (4,00 t/ha⁻¹)

T₄ = 75 % de NPK + Biochar (5,00 t/ha⁻¹) T₁₀ = 100 % de NPK

T₅ = 75 % de NPK + Biochar (4,50 t/ha⁻¹) T₁₁ = 75 % de NPK T₆ = 75 % de NPK + Biochar (4,00 t/ha⁻¹) T₁₂ = 50 % de NPK

Los valores de coeficiente de variabilidad (Tabla 13) en el calibre de los granos por mazorca, peso de 100 semillas, peso de granos por parcela y rendimiento (t/ha^{-1}); mostraron valores por debajo del 5 %; como lo señala Reyes (2010), indican excelente consistencia en los experimentos de campo y homogeneidad similar entre las unidades experimentales de cada tratamiento.

La Tabla 14 muestra en la prueba de Duncan, donde los tratamientos T₁ (100 % de NPK + Biochar (5,00 t/ha^{-1})) y T₂ (100 % de NPK + Biochar (4,50 t/ha^{-1})) destacaron significativamente en comparación con los otros tratamientos en estudio en cuanto al peso de los granos por mazorca, calibre de 100 semillas, calibre de granos por parcela y rendimiento (t/ha^{-1}) de maíz; los tratamientos T₁₀ (100 % de NPK), T₁₁ (75 % de NPK) y T₁₂ (50 % de NPK) obtuvieron resultados más bajos en todas las evaluaciones; sin embargo, dentro de este grupo se hallaron discrepancias significativas entre ellos, especialmente del peso de los granos por mazorca, en el peso de granos por parcela y el rendimiento. Además, los procedimientos evaluados T₄ y T₅ se posicionan estadísticamente después de los tratamientos T₁ y T₂ en cuanto a los altos resultados en las variables evaluadas.

Los tratamientos T₁, T₂, T₃ (100 % de NPK + Biochar (4,00 t/ha^{-1})), T₄, T₅ y T₆ (75 % de NPK + Biochar (4,00 t/ha^{-1})) los resultados son significativamente superiores en cuanto al peso de 100 semillas en relación con el resto de tratamientos estudiados. Esto sugiere que la interacción entre las dosis de Biochar y aplicaciones del 75 % y 100 % de la fertilización inorgánica, contribuyó estadísticamente a que las plantas de maíz produjeran semillas más pesadas. Esta observación puede ser atribuida al efecto del Biochar bajo estos porcentajes de fertilización en el perfeccionamiento de la retención y accesibilidad de nutrientes en el suelo (Andrade y Valdiviezo, 2020), lo que favoreció en el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz favoreciendo las condiciones óptimas para la formación de semillas más grandes y pesadas.

4.2. Porcentaje de fertilización recomendada con mayor eficiencia en el desarrollo, crecimiento y producción por hectárea del cultivo de maíz.

De acuerdo con los resultados del experimento obtenido se recomienda para el cultivo maíz para obtener mejor producción y rendimiento, la aplicación de fertilizantes inorgánicos 50, 75 y 100 % de NPK en combinación con 4,50 t/ha^{-1} y 5,00 t/ha^{-1} de Biochar que es un fertilizante orgánico que influye significativamente de forma positiva en el desarrollo y crecimiento del maíz, mayor producción de grano y mayor rendimiento del cultivo.

El Biochar al ser un material carbonoso poroso y rico en grupos funcionales, que llega adsorber y retener nutrientes del suelo (Zimmerman, 2011), lo que hace posible incrementar las reservas de elementos nutritivos para las plantas, que al combinar con la dosis recomendada de NPK, el Biochar puede proporcionar un suministro continuo y equilibrado de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

4.3. Análisis de beneficio/costo

Tabla 15. Análisis de beneficio y costo (B/C) de los tratamientos para el rendimiento (t/ha) de maíz amarillo duro.

Tratamiento	Rendimiento (t/ha)	Ingreso Bruto (S/.)	Costo Total (S/.)	Utilidad Neta (S/.)	Relación Beneficio/Costo	Índice de Rentabilidad (%)
T ₁	12,56	12560,00	9500,00	3060,00	1,32	32,21
T ₂	12,28	12280,00	8850,00	3430,00	1,39	38,76
T ₄	12,15	12150,00	9000,00	3150,00	1,35	35,00
T ₅	12,12	12120,00	8350,00	3770,00	1,45	45,15
T ₃	11,77	11770,00	8100,00	3670,00	1,45	45,31
T ₆	11,46	11460,00	7600,00	3860,00	1,51	50,79
T ₇	11,50	11500,00	8500,00	3000,00	1,35	35,29
T ₈	10,92	10920,00	7850,00	3070,00	1,39	39,11
T ₉	9,77	9700,00	7100,00	260,00	1,37	36,62
T ₁₀	6,07	6070,00	4100,00	2070,00	1,48	50,49
T ₁₁	4,48	4480,00	3500,00	980,00	1,28	28,00
T ₁₂	3,70	3700,00	3000,00	700,00	1,23	23,33

De acuerdo con el análisis de beneficio y costo (B/C) para el rendimiento de 1,00 ha de maíz amarillo duro, sembrado a una densidad de 62,500 plantas/ha en el caserío Antonio Raymondi, Las Vegas, distrito Daniel Alomía Robles, se identificó que los tratamientos T₆, T₁₀, T₅ y T₃ ofrecen los mejores resultados en rentabilidad. Estos tratamientos presentan los más altos valores de la relación B/C que son 1,51, 1,48, 1,45 y 1,45 soles respectivamente (Tabla 15). Esto significa que por cada sol destinado en la producción del cultivo de maíz amarillo duro usando 75 % de NPK + Biochar (4 t/ha⁻¹), 100 % de NPK, 75 % de NPK + Biochar (4,50 t/ha⁻¹) y 100 % de NPK + Biochar (4 t/ha⁻¹), el productor puede recuperar el sol invertido mas un retorno adicional de 50,79, 50,49, 45,31 y 45,15 soles, respectivamente (Tabla 15), Estos buenos resultados se deben a la alta eficacia de los tratamientos en el rendimiento lo cual se traduce en una mayor producción de maíz amarillo duro y por ende, mejor relación entre los

costos invertidos y los beneficios obtenidos. La combinación de estos tratamientos y una producción optimizada maximiza el retorno de inversión.

Por otro lado, los tratamientos T₁₂ y T₁₁ con 50 % de NPK y 75 % de NPK presentan ratios B/C más bajos, de 1,23 y 1,28 soles respectivamente, sugiriendo que la recuperación adicional por cada sol invertido es de solo 23.23 y 28.00 soles. Estos resultados reflejan que, aunque los tratamientos T₁₂ y T₁₁ pueden tener un costo inicial más bajo, no justifican la inversión de manera tan efectiva como los otros tratamientos debido a su menor eficacia y su rendimiento es muy bajo.

V. CONCLUSIONES

1. La aplicación de dosis de 4.00 t/ha⁻¹, 4.50 t/ha⁻¹ y 5.00 t/ha⁻¹ de Biochar en combinación con porcentajes de 50 %, 75 % y 100 % de fertilizante inorgánico NPK resultó con mejores resultados muy significativas respecto al parámetro de medida de la planta, biometría de la mazorca alcanzando rendimientos de 9,77 t/ha⁻¹ a 12,56 t/ha⁻¹, en comparación con los tratamientos en base a la aplicación exclusiva de fertilizante inorgánico NPK sin Biochar, que alcanzaron rendimientos de 3,70 t/ha⁻¹ a 6,07 t/ha⁻¹.
2. Es factible la incorporación de la cantidad de Biochar 4,00 t/ha⁻¹, 4,50 t/ha⁻¹ y 5,00 t/ha⁻¹ ya tiene un impacto notable en la eficacia de cierto porcentaje de aplicación de fertilizante inorgánico NPK en la producción de maíz; donde la aplicación del 75 % y 100 % de la dosis recomendada del fertilizante inorgánico con NPK, más la combinación del Biochar obtuvo mejores resultados en desarrollo, crecimiento y rendimiento del maíz.
3. La dosificación de 4,50 t/ha⁻¹ y 5,00 t/ha⁻¹ de Biochar en combinación con porcentajes de 50, 75 y 100 % de fertilizante NPK es recomendable para obtener buen rendimiento del maíz.
4. Los tratamientos T₆, T₁₀, T₃ y T₅ con 75 % de NPK + Biochar (4 t/ha⁻¹), 100 % de NPK, 75 % de NPK + Biochar (4,50 t/ha⁻¹) y 100 % de NPK + Biochar (4 t/ha⁻¹) respectivamente, proporcionaron los mejores resultados en términos de rendimiento y rentabilidad para el cultivo de maíz en la variedad amarillo duro, ofreciendo un alto retorno de inversión de hasta 50,79 soles adicionales por cada sol invertido. En contraste, los tratamientos T₁₂ (50 % de NPK) y T₁₁ (75 % de NPK) presentan ratios B/C más bajos, de 1,23 y 1,28 soles respectivamente, sugiriendo que la recuperación adicional por cada sol invertido es de solo 23.23 y 28.00 soles, ya que tienen ratios de beneficio/costos más bajos, sugiriendo que su uso no es rentable.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Se sugiere realizar ensayos a nivel de campo para evaluar la eficiencia e interacción entre diferentes dosis de Biochar y porcentajes de fertilizante NPK, con el objetivo de determinar las combinaciones óptimas que maximicen la productividad del cultivo.
2. Investigar más al fondo los mecanismos subyacentes de esta interacción para comprender mejor cómo el Biochar puede llegar a mejorar la eficacia de la fertilización inorgánica y contribuir al crecimiento y desarrollo saludable del maíz.
3. Se sugiere enfocarse en la aplicación de dosis de $4,50 \text{ t/ha}^{-1}$ y $5,00 \text{ t/ha}^{-1}$ de Biochar para mejorar el cultivo de maíz en su desarrollo y producción por hectárea.
4. Monitorear cuidadosamente el impacto de estas dosis de Biochar en el rendimiento del maíz a lo largo del tiempo y en diferentes condiciones ambientales para obtener una comprensión más completa de su efectividad y aplicabilidad en la producción agrícola.
5. Considerar la aplicación del 75 % y 100 % de la dosis recomendada del fertilizante inorgánico NPK como la opción preferida para lograr un óptimo desarrollo, crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz.
6. Probar el efecto de diferentes dosis de Biochar y porcentajes de fertilizante NPK en el rendimiento de otras variedades de semillas certificadas de maíz.

VII. REFERENCIAS

- Adhikari, K., Barrington, S., Martínez, J., y King, S. (2009). Effectiveness of three bulking agents for wood waste composting. *Waste Manage*, 29(1), 197–203. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18558482/>
- Agegnehu, G., Srivastava, K., y Bird, I. (2017). The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance. *Applied Soil Ecology*, 119, 156-170. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139316304954>
- Álvarez, J., Pasian, C., Lal, R., López, R., y Fernández, M. (2017). Vermicompost and biochar as substitutes of growing media in ornamental-plant production. *Journal of Applied Horticulture*, 19(3), 205-214.
- Anand, Abhijeet; Kumar, Vivek; Kausal, Priyanka (2022). Biochar and its twin benefits: Crop residue management and climate change mitigation in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 156, p. 111959.
- Andrade, J., y Valdiviezo, K. (2020). *Elaboración de biochar a partir de estiércol porcino y vacuno y su aplicación en aguas contaminadas con mercurio obtenidas en procesos mineros artesanales en el sector Vizcaya-Cantón Zaruma* [Tesis pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19762>
- Bender, R. (2012). *Nutrient uptake and partitioning in high-yielding corn* (Tesis para optar el título de Magister). University of Illinois at Urbana-Champaign. <https://www.ideals.illinois.edu/items/32300>
- Bertshc, F. (2003) Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la ciencia del suelo.
- Bridgewater, A.V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*. 38: 68-94.
- Campillo, S. (2020). *Evaluar respuestas biológicas en el cultivo de frijol Phaseolus Vulgaris mediante la aplicación biochar* [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico Superior de Misantla]. Repositorio Institucional. <https://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/5202>
- Cillóniz, F. (2020). *Perú aumenta cada vez más su producción de maíz amarillo duro, pero también importa una gran cantidad*. Agencia Agraria de Noticias - ANDINA. <https://tinyurl.com/5e4m29k3>

- Cruz, O. (2013). El cultivo de maíz: Manual para el cultivo de maíz en Honduras. *Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA)*. <https://dicta.gob.hn/files/2013,-Manual-cultivo-de-maiz--G.pdf>
- Cueto, M. (2016). *Potencial de producción de biochar en España a partir de residuos de la industria papelera, de lodos de E.D.A.R., de residuos sólidos urbanos y de residuos ganaderos: Estudio de la fijación de carbono* [Tesis de doctorado. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos]. Repositorio Institucional ETSIA. <https://oa.upm.es/39453/>
- Deras, F. (2012). *Guía técnica: el cultivo de maíz*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11893>
- Flores, M. (2017). *Distanciamientos de siembra y rendimiento del maíz (Zea mays L.) híbrido amarillo duro DEKALB 7508 en condiciones edafoclimáticas de San Regis -el Carmen-Chincha – 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán Huánuco]. Repositorio Institucional UNHEVAL. <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/3978>
- Fornes, F.; Belda, M., y Lidón, A. (2015). Analysis of two biochars and one hydrochar from different feedstock: focus set on environmental, nutritional and horticultural considerations. *Journal of Cleaner Production*, 86(1), 40-48. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614008804>
- García, C. (2020). El maíz es el cultivo más importante en extensión para el Perú. *Agencia Agraria de Noticias - ANDINA*. <https://tinyurl.com/y46nmbzb>
- Glaser, B., Lehmann, J., y Zech, W. (2002) Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal. *Biology and Fertility of Soils*, 35, 219-230. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0466-4>
- Hermans, Syrie M.; Buckley, Hannah L.; Case, Bradley S.; Curran-Cournane, Fiona; Taylor, Matthew; Lear, Gavin (2022). Using soil bacterial communities to predict physico-chemical variables and soil quality. *Microbiome*, v. 8, p. 79
- Hidalgo, E. (2013). *Manejo técnico del cultivo de maíz amarillo duro en la región San Martín*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). <https://tinyurl.com/yckurcem>
- Iglesias, S., Alegre, J., Salas, C., y Egüez, J. (2018). El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 25-32. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.03>

- Integrated Taxonomic Information System. (2021). ITIS Report, *Zea mays* L. Taxonomic Serial N°: 42269. Integrated Taxonomic Information System (ITIS). <https://tinyurl.com/4wma2vvc>.
- Ji, Mengyuan; Wang, Xiaoxia; Usman, Muhhamad; Liu, Feihong; Dan, Yitong; Zhou, Lei; Campanaro, Stefano; Luo, Gang; Sang, Wenjing (2022). Effects of different feedstocks-based biochar on soil remediation: A review. *Environmental Pollution*, v. 294, p. 118655
- Kamali, Mohammadreza; Sweygens, Nick; Al-Salem, Sultan; Appels, Lise; Aminabhavi, Tejraj M.; Dewil, Raf. (2022). Biochar for soil applications-sustainability aspects, challenges and future prospects. *Chemical Engineering Journal*, v. 428, p. 131189.
- Leveau, M., Dumler, S., Anaya, R., Alegre, J., y Ladd, B. (2021). Uso de biocarbón en el balance de nitrógeno en suelos aluviales de San Ramón/Chanchamayo/Perú. *Ecología Aplicada*, 20(2), 179-188. <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/eau/article/view/1808>
- Libra, A., Ro, S., Kammann, C., Funke, A., Berge, D., Neubauer, Y., Titirici, M., Fühner, C., Bens, O., Kern, J., y Emmerich, H. (2011). Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry processes and applications of wet and dry pyrolysis. *Biofuels*, 2, 89-124. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.4155/bfs.10.81>
- Lima, M., Boateng, A., y Klasson, T. (2010). Physicochemical and adsorptive properties of fast-pyrolysis bio-chars and their steam activated counterparts. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 85(11), 1515–1521. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jctb.2461>
- Liu, L. (2015). *Desarrollo de nuevos sustratos a base de compost y biochar para la propagación y producción de Rosmarinus officinalis L. en vivero profesional* [Tesis para optar título de Ingeniería Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio Institucional UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/54191>
- López, I. (2017). *Evaluación de tres densidades de siembra con siete híbridos del cultivo de maíz amarillo duro (Zea mays L.), en un sistema de siembra bajo riego, en la zona del Huallaga Central, San Martín – Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional UNSM. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3899>

- Mallarino, P., Sawyer, J., y Barnhart, S. (2013). A general guide for crop nutrient and limestone recommendations in Iowa. PM 1688. *Iowa State University Extension and Outreach, Ames, Iowa, USA*. <https://dr.lib.iastate.edu/handle/20.500.12876/34144>
- Meddeb, S., Habib, H., Tangour, D., Hamouda, A., Álvarez, M., y López, R. (2018). *Efectos de biochar y compost en un suelo de huerto urbano moderadamente contaminado por metales pesados*. VIII Congreso Ibérico de las Ciencias del Suelo: Protección y Restauración de suelos. <https://digital.csic.es/handle/10261/170507>
- Ministerio de Agricultura [MINAG] e Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA]. (1995). *Mapa Ecológico del Perú* (Guía Explicativa). <https://keneamazon.net/Documents/Publications/Virtual-Library/Maps/INRENA-mapa-ecologico.pdf>
- Mondragón, A., Medina, L., Sánchez, A., y Núñez, V. (2021). Efecto de la aplicación de biocarbón en el rendimiento de maíz en Michoacán, México. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-7. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/896>
- Morales, N. (2018). *Efecto de tres densidades de siembra en el rendimiento de cuatro híbridos de maíz (Zea mays L.), bajo condiciones de Pueblo Nuevo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1651>
- Muñoz, M. (2021). *Efecto de biochar y fertilizantes sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, desarrollo radical y componentes de rendimiento en arroz* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio Institucional ESPAM. <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1543>
- Olmo, M. (2016). *Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal* [Tesis doctorado, Universidad de Córdoba]. Repositorio Institucional UCO: <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/13381>
- Palomino, L. (2018). *La aplicación de biochar de residuos verdes y purín de cerdo y su efecto sobre el flujo de nitrógeno para el cultivo de tres cosechas de rábano (Raphanus sativus L.) en Lurin, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Sur]. Repositorio Institucional Científica. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/850>
- Ramírez, J. (2023). *Influencia del biochar en suelos agrícolas degradados de la provincia de La Mar – Ayacucho, 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13147>
- Reyes, F. 2010. Manejo agronómico del maíz morado en los valles interandinos del Perú. Lima: INIA. Boletín N° 1- 12. 23.

- SENAMHI (Servicio de Nacional de Meteorología e hidrología del Perú). (2021). *Datos Hidrometeorológicos a nivel Nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Schmidt, H., Kammann, C., Niggli, C., Evangelou, M., Mackie, K., y Abiven, S. (2014). Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard soil: Influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191, 117–123. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880914001984>
- Soria, L. (2023). *Efecto del biochar sobre el suelo y rendimiento del maíz chala, en el Centro de Investigación de Canchán, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio Institucional UNHEVAL. <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/9315>
- Wan, J., Liu, L., Shahzad, K., Zhang, W., Shen, G., Hu, S., y Quian, X. (2020) Characterization and adsorption performance of biochars derived from three key biomass constituents. *Fuel*, 269, 117-142. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001623612030137X>
- Yara. (2012). *Nutrición vegetal maíz: Resumen nutricional del maíz*. Empresa YARA. <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/maiz/resumen-nutricional/>
- Zimmerman, R., Gao, B., y Ahn, Y. (2011). Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 43(1), 1169- 1179. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071711000769>.
- Wang, Jie; Shi, Liang; Zhai, Lulu; Zhang, Haowen; Wang, Shengxiao; Zou, Jianwen; Shen, Zhenguo; Lian, Chunlan; Chen, Yahua (2021). Analysis of the long-term effectiveness of biochar immobilization remediation on heavy metal contaminated soil and the potential environmental factors weakening the remediation effect: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 207, p. 111261.
- Yadav, Vineet; Jain, Shilpi; Mishra, Pooja; Khare, Puja; Shukla, Ashutosh K.; Karak, Tanmay; Singh, Anil K. (2019). Amelioration in nutrient mineralization and microbial activities of sandy loam soil by short term field aged biochar. *Applied Soil Ecology*, v. 138, p. 144–155.

ANEXO

Anexo 1.

Tabla 16. Análisis de varianza de la altura de la planta de maíz amarillo duro

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	0,01	2	0,01	5,45	0,01
Tratamiento	0,74	11	0,07	73,30	<0,0001
NPK	0,08	2	0,04	41,76	<0,0001
Biochar	0,55	3	0,18	201,06	<0,0001
Biochar + NPK	0,11	6	0,02	19,93	<0,0001
Error	0,02	11	0,00		
Total	0,77	35			
C.V. (%)		1,64			
R ²	0,97				

Tabla 17. Análisis de varianza de la altura de la mazorca de maíz amarillo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	5,10E-04	2	2,50E-04	1,29	0,294
Tratamiento	0,75	11	0,07	350,58	<0,0001
NPK	0,12	2	0,06	304,87	<0,0001
Biochar	0,62	3	0,21	1056,20	<0,0001
Biochar + NPK	0,02	6	2,50E-03	13,00	<0,0001
Error	4,30E-03	11	2,00E-04		
Total	0,76	35			
C.V. (%)		1,68			
R ²		0,99			

Tabla 18. Análisis de varianza del número de plantas de maíz amarillo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	4,50	2	2,25	3,34	0,0542
Tratamiento	132,67	11	12,06	17,89	<0,0001
NPK	12,17	2	6,08	9,02	0,0014
Biochar	92,89	3	30,96	45,92	<0,0001
Biochar + NPK	27,61	6	4,60	6,83	0,0003
Error	14,83	11	0,67		
Total	152,00	35			
C.V. (%)		2,00			
R ²		0,90			

Tabla 19. Análisis de varianza del número de mazorcas de maíz amarillo duro

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	12,17	2	6,08	3,60	0,0444
Tratamiento	683,42	11	62,13	36,78	<0,0001
NPK	26,17	2	13,08	7,74	0,0028
Biochar	592,97	3	197,66	117,00	<0,0001
Biochar + NPK	64,28	6	10,71	6,34	0,0006
Error	37,17	22	1,69		
Total	732,75	35			
C.V. (%)		3,28			
R ²		0,95			

Tabla 20. Análisis de varianza de la longitud de mazorca de maíz amarillo duro

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	0,11	2	0,05	0,29	0,7484
Tratamiento	211,42	11	19,22	107,03	<0,0001
NPK	127,61	2	63,80	355,29	<0,0001
Biochar	63,58	3	21,19	118,02	<0,0001
Biochar + NPK	20,23	6	3,37	18,77	<0,0001
Error	3,95	11	0,18		
Total	215,47	35			
C.V. (%)		2,41			
R ²		0,98			

Tabla 21. Análisis de varianza del diámetro de mazorcas de maíz amarillo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	3,40E-04	2	1,70E-04	0,60	0,5566
Tratamiento	0,77	11	0,07	248,64	<0,0001
NPK	0,05	2	0,02	82,29	<0,0001
Biochar	0,69	3	0,23	815,62	<0,0001
Biocahr + NPK	0,03	6	0,01	20,60	<0,0001
Error	0,01	11	2,80E-04		
Total	0,78	35			
C.V. (%)		0,33			
R ²		0,99			

Tabla 22. Análisis de varianza del número de hileras de maíz amarillo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	0,07	2	0,04	4,70	0,0199
Tratamiento	33,09	11	3,01	382,98	<0,0001
NPK	0,27	2	0,14	17,23	<0,0001
Biochar	31,79	3	10,6	1349,29	<0,0001
Biochar + NPK	1,02	6	0,17	21,75	<0,0001
Error	0,17	22	0,01		
Total	33,33	35			
C.V. (%)		0,66			
R ²		0,99			

Tabla 23. Análisis de varianza del número de granos por hilera de maíz amarillo

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	0,11	2	0,06	0,13	0,8815
Tratamiento	1176,5	11	106,95	243,04	<0,0001
NPK	42,94	2	21,47	48,78	<0,0001
Biochar	1116,13	3	372,04	845,41	<0,0001
Biochar + NPK	17,43	6	2,90	6,60	0,0004
Error	9,68	22	0,44		
Total	1186,29	35			
C.V. (%)		1,85			
R ²		0,99			

Tabla 24. Análisis de varianza del peso de granos por mazorca de maíz amarillo duro

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	20,56	2	10,28	1,33	0,2852
Tratamiento	58577,94	11,00	5325,27	688,45	<0,0001
NPK	3418,97	2	1709,48	221,00	<0,0001
Biochar	54772,52	3	18257,51	2360,34	<0,0001
Biochar + NPK	386,46	6	64,41	8,33	0,0001
Error	170,17	22	7,74		
Total	58768,67	35			
C.V. (%)		1,70			
R ²		1,00			

Tabla 25. Análisis de varianza del peso de 100 semillas de maíz amarillo duro

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	0,07	2	0,04	0,22	0,8054
Tratamiento	75,13	11	6,83	40,40	<0,0001
NPK	33,89	2	16,95	100,24	<0,0001
Biochar	35,27	3	11,76	69,53	<0,0001
Biochar + NPK	5,97	6	1	5,89	0,0009
Error	3,72	22	0,17		
Total	78,92	35			
C.V. (%)		2,38			
R ²		1,00			

Tabla 26. Análisis de varianza del peso de granos por semilla de maíz amarillo duro

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	0,04	2	0,02	0,74	0,4887
Tratamiento	155,5	11	14,14	566,20	<0,0001
NPK	8	2	4	160,22	<0,0001
Biochar	146,13	3	48,71	1951,04	<0,0001
Biochar + NPK	1,36	6	0,23	9,11	<0,0001
Error	0,55	22	0,02		
Total	156,08	35			
C.V. (%)		2,39			
R ²		1,00			

Tabla 27. Análisis de varianza del peso de toneladas por hectárea de maíz amarillo duro

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	0,08	2	0,04	0,75	0,486
Tratamiento	344,18	11	31,29	558,48	<0,0001
NPK	17,7	2	8,85	157,98	<0,0001
Biochar	323,48	3	107,83	1924,58	<0,0001
Biochar + NPK	3	6	0,50	8,93	0,0001
Error	1,23	22	0,06		
Total	345,50	35			
C.V. (%)		1,05			
R ²		0,95			

Anexo 2.



Figura 10. Colocación del cartel de investigación en el área experimental



Figura 11. Realizando la medición de altura de la planta en la segunda fertilización



Figura 12. Tratamiento - testigo



Figura 13. Tratamiento de 75 % NPK + 50 % de Biochar



Figura 14. Tratamiento de 50 % NPK + 75 % de Biochar



Figura 15. Etapa de floración - testigo



Figura 16. Supervisando el campo experimental de maíz en la etapa de floración



Figura 17. Realizando monitoreo en cada tratamiento



Figura 18. Visita del Dr. Hugo Huamaní, presidente de jurado de tesis al campo experimental



Figura 19. Dr. Hugo Huamaní, presidente de jurado de tesis, revisando las mazorcas de maíz amarillo duro.



ANÁLISIS DE SUELOS



SOLICITANTE:		ELVIS HUANCA GUZMAN										FECHA DE REPORTE:		5/9/2019										
PROCEDENCIA:		CASERIO LAS VEGAS - PUMAHUASI - DANIEL ALOMIA ROBLES - LEONCIO PRADO - HUANUCO										FACTURA ELECTRONICA N°		51730										
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO																								
N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO				ANÁLISIS QUÍMICO								ANÁLISIS QUÍMICO									
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	pH	CE	Materia Orgánica	N	C	P	K ₂ O	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiables	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio
	Ao	Arc	Lo	dSm	M.O.		total	Orgánico	disponible	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio		Aluminio	Hidrógeno	%	%	%					
CODIGO DEL LAB.	COD SOLICITANTE	%	%	%	1:1	1:1	%	%	%	ppm	ppm	----	CAMBIABLES			Cmol(+)/kg								
1	S0971-1	Inicial	66	12	22	Franco Arenoso	4.03	0.48	1.63	0.0813	0.9436	7.679	90.8124	----	2.480	0.395	0.461	0.124	5.318	0.860	9.638	35.902	64.098	55.174

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 20. Análisis de suelos inicial de la parcela experimental



ANALISIS DE SUELOS



SOLICITANTE:	ELVIS HUANCA GUZMAN	FECHA DE REPORTE:	5/3/2020
PROCEDENCIA:	CASERIO LAS VEGAS - PUMAHUASI - DANIEL ALOMIA ROBLES - LEONCIO PRADO - HUANUCO	RECIBO N°	001 N° 0612167

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		ANALISIS MECANICO				ANALISIS QUIMICO										ANALISIS QUIMICO							
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	pH	CE	Materia Orgánica	N	C	P	K ₂ O	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiables	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio
			Ao	Arc	Lo		dSim	M.O.	total	Orgánico	disponible	Calcio	Magnesio		Potasio	Sodio	Aluminio	hidrogeno	%	%		%		
			%	%	%		1:1	1:1	%	%	%	ppm	ppm		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		ppm	ppm	ppm
CODIGO DEL LAB.	COD SOLICITANTE	CMBIABLES Cmol(+)/kg																						
1	S0729-1	T1	62	14	24	Franco Arenoso	5.23	0.67	2.41	0.1207	1.4002	13.625	150.6410	----	4.740	0.782	1.203	0.140	1.898	1.970	10.733	63.967	36.033	17.679
2	S0729-2	T2	64	12	24	Franco Arenoso	4.80	0.52	2.52	0.1259	1.4610	9.723	140.1805	----	4.830	0.581	0.834	0.256	3.375	0.200	10.076	64.519	35.481	33.496
3	S0729-3	T3	60	13	27	Franco Arenoso	4.57	0.50	2.83	0.1417	1.6437	5.728	107.7023	----	3.310	0.422	0.855	0.246	3.750	0.500	9.083	53.207	46.793	41.288
4	S0729-4	T4	54	15	32	Franco Arenoso	5.25	0.63	2.89	0.1443	1.6741	14.926	154.4763	----	5.840	0.727	1.360	0.466	1.350	0.400	10.143	82.747	17.253	13.310
5	S0729-5	T5	62	16	22	Franco Arenoso	4.93	0.34	1.89	0.0945	1.0958	9.444	146.6355	----	4.520	0.571	0.649	0.190	3.000	0.600	9.530	62.225	37.775	31.479
6	S0729-6	T6	64	14	22	Franco Arenoso	4.50	0.50	2.31	0.1154	1.3393	4.428	84.1164	----	3.520	0.444	0.495	0.113	4.125	0.800	9.297	49.176	50.824	44.370
7	S0729-7	T7	60	15	25	Franco Arenoso	5.32	0.60	2.26	0.1128	1.3088	11.488	160.4719	----	5.980	0.789	1.226	0.360	0.825	0.500	9.679	86.311	13.689	8.523
8	S0729-8	T8	58	14	28	Franco Arenoso	4.89	0.60	2.83	0.1417	1.6437	8.329	164.1309	----	4.660	0.593	0.914	0.332	2.175	0.900	9.574	67.882	32.118	22.717
9	S0729-9	T9	54	16	31	Franco Arenoso	4.51	0.53	2.05	0.1023	1.1871	4.892	113.7596	----	3.750	0.471	0.547	0.146	4.350	0.200	9.464	51.922	48.078	45.965
10	S0729-10	T10	56	16	28	Franco Arenoso	4.20	0.51	3.20	0.1601	1.8567	2.198	49.7703	----	1.960	0.248	0.130	0.123	4.200	2.500	9.161	26.865	73.135	45.846
11	S0729-11	T12	60	18	23	Franco Arenoso	4.21	0.20	3.10	0.1548	1.7959	2.291	67.1377	----	2.140	0.266	0.160	0.133	4.875	0.600	8.173	33.014	66.986	59.645
12	S0729-12	T14	58	18	24	Franco Arenoso	4.21	0.25	2.68	0.1338	1.5524	2.662	75.6685	----	2.480	0.316	0.308	0.199	4.350	0.800	8.452	39.068	60.932	51.467

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

[Firma]

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 21. Análisis del suelo inicial de los 12 tratamiento.



ANÁLISIS DE SUELOS



SOLICITANTE:	ELVIS HUANCA GUZMAN	FECHA DE REPORTE:	19/9/2022
PROCEDENCIA:	CASERIO LAS VEGAS - PUMAHUASI - DANIEL ALOMIA ROBLES - LEONCIO PRADO - HUANOUCO	FACTURA ELECTRONICA N°	001-0659192

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO			ANÁLISIS QUÍMICO										ANÁLISIS QUÍMICO								
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	pH	CE	Materia Orgánica	N	C	P	K ₂ O	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiables	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio
			Ao	Arc	Lo		dS/m	M.O.	total	Orgánico	disponible	Calcio	Magnesio		Potasio	Sodio	Aluminio	Hidrógeno	%	%		%		
1	S1618	LAS VEGAS	56	19	25	Franco Arenoso	5.40	0.17	2.36	0.1181	1.3697	4.985	39.0190	----	3.250	0.412	0.040	0.013	1.425	2.100	7.239	51.307	48.693	19.684

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

Figura 22. Análisis de suelo final de la parcela experimental.