

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**INFLUENCIA DE DIFERENTES NIVELES DE BIOCHAR
COMO COMPLEMENTO A LA FERTILIZACION EN EL
RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAIZ (*Zea mays* L.) EN
UN INCEPTISOL DE PUCALLPA**

**Tesis para optar el título profesional de
INGENIERO AGRÓNOMO**

VANNIA INÉS GARCÍA LOVERA

Pucallpa, Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



ANEXO 4

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN O TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación de la tesis, presentado por **Vannia Inés García Lovera**, denominada: **"Influencia de diferentes niveles de biochar como complemento a la fertilización en el rendimiento del maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) en un inceptisol de Pucallpa"** para cumplir con el requisito de **TÍTULO PROFESIONAL**.

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo, así como los conocimientos demostrados por la sustentante lo declaramos:
..... APROBADO con el calificativo (*) 17

En consecuencia, queda en condición de ser considerado Apto por el Consejo Universitario y recibir el: Título de **INGENIERO AGRÓNOMO**, de conformidad con lo estipulado en Art. 10 del reglamento general de grados académicos, título profesional y título de segunda especialidad profesional de la Universidad Nacional de Ucayali.

Pucallpa, 17 de ENERO de 2025.

.....
M. Sc. Jorge Raúl García Cavalié
Presidente

.....
M. Sc. Jessica Madeley Ríos Guzmán
Primer Miembro

.....
M. Sc. Silvia Paola Llapapasca García
Segundo Miembro

.....
M. Sc. José Antonio López Ucariegue
Asesor

(*) De acuerdo con el Art. 21 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, éstas deberán ser calificadas con términos de Sobresaliente, Aprobado por Unanimidad, Aprobado por Mayoría y Desaprobado.

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título de Ingeniero Agrónomo.

M. Sc. Jorge Raúl García Cavalié


.....
PRESIDENTE

M. Sc. Jessica Madeley Ríos Guzmán


.....
PRIMER MIEMBRO

M. Sc. Silvia Paola Llapapasca García


.....
SEGUNDO MIEMBRO

M. Sc. José Antonio López Ucariegue


.....
ASESOR

Bach. Vannia Inés García Lovera


.....
TESISTA



CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

N° V/0207-2024.

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

"INFLUENCIA DE DIFERENTES NIVELES DE BIOCHAR COMO COMPLEMENTO A LA FERTILIZACIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN UN INCEPTISOL DE PUCALLPA"

Autor(es) : GARCÍA LOVERA, VANNIA INÉS
Facultad : CIENCIAS AGROPECUARIAS
Escuela : AGRONOMÍA
Asesor(a) : M.Sc. LOPEZ UCARIEGUE, JOSE ANTONIO

Presenta un **porcentaje de similitud de 5%**, verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO, De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que todo trabajo de investigación no debe superar el 10%. **En tal sentido, se declara, que el presente trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia de Originalidad de Trabajo de Investigación (COTI) a solicitud del asesor.

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

Fecha: 13/05/2024



Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, VANNIA INES GARCIA LOVERA

Autor de la tesis titulada: "INFLUENCIA DE DIFERENTES NIVELES DE BIOCHAR COMO COMPLEMENTO A LA FERTILIZACIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ AMARILLO DURO (ZEA MAYS L.) EN UN INCEPTISOL DE PUCALLPA"

Sustentada el año 2025

Asesor(a): M. Sc. JOSE ANTONIO LOPEZ UCAREGUE

Facultad: CIENCIAS AGROPECUARIAS

Escuela Profesional: AGRONOMIA

Autorizo la publicación:

PARCIAL

☐

TOTAL

☒

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

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

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

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 05 / 03 / 2025

Email: garcialovera20@gmail.com Firma: [Firma]

Teléfono: 937569282 DNI: 72024181

www.repositorio.unu.edu.pe
repositorio@unu.edu.pe

DEDICATORIA.

A Dios Por siempre darme un día más de vida, por darme sabiduría, fe y fortaleza para poder culminar este trabajo de investigación.

A mis padres Julia Lovera Caiña y Francisco García Ramírez, por darme la vida, por mostrarme el camino a la superación, por su apoyo incondicional y sus consejos para hacer de mí una ciudadana de bien.

A mi hija Ivanna Bonilla García por ser el motivo de superación, darme las fuerzas necesarias para seguir adelante y ser el orgullo de ella.

AGRADECIMIENTO.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento:

A mi alma mater Universidad Nacional de Ucayali por acogerme en sus aulas y hacer que me sienta como en casa, dándome la oportunidad de realizarme profesionalmente con la ayuda de los mejores catedráticos de la Región Ucayali.

A mis docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela Agronomía por haberme brindado los conocimientos y las enseñanzas adquiridas durante los cinco años de mi carrera profesional.

A mi asesor Ing. José Antonio López Ucarie M. Sc. quien me apoyó científicamente y moralmente durante la elaboración de esta investigación y me brindó toda la confianza estando allí para guiarme y aconsejarme en todo el proceso de ejecución.

ÍNDICE GENERAL.

	Pág.
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INDICE DE TABLAS.....	xiii
INDICE DE FIGURAS.....	xiv
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Descripción y fundamentación del problema.....	2
1.2. Formulación del problema general y específicos.....	3
1.2.1 Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivo general y objetivos específicos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Hipótesis.....	4
1.4.1. Hipótesis general.....	4
1.4.2. Hipótesis específicas.....	4
1.5. Operacionalización de las variables.....	5
1.6. Justificación e importancia.....	5
1.7. Viabilidad	6
1.8. Limitaciones.....	6
CAPITULO II. MARCO TEORICO.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	7
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	8
2.1.3. Antecedentes locales.....	9
2.2. Bases teóricas.....	9
2.2.1. Descripción botánica.....	9
2.2.2. Requerimiento nutricional del maíz amarillo duro.....	10
2.2.3. El biochar.....	11

2.3.	Definiciones conceptuales.....	13
2.3.1.	Suelo inceptisol.....	13
2.3.2.	Biochar.....	13
2.3.3.	Dosis correcta.....	13
2.3.4.	Requerimiento nutricional.....	14
2.3.5.	Biofertilizantes.....	14
2.3.6.	Remediación.....	14
2.3.7.	Rendimiento.....	14
CAPITULO III.	METODOLOGIA.....	15
3.1.	Método de investigación.....	15
3.2.	Tipo y nivel de investigación.....	15
3.2.1.	Población y muestra.....	15
3.3.	Componentes en estudio.....	15
3.4.	Tratamientos en estudio.....	16
3.5.	Diseño experimental.....	16
3.6.	Ejecución experimental.....	19
3.6.1.	Ubicación y duración del estudio.....	20
3.6.2.	Condiciones de clima y suelo.....	21
3.6.3.	Proceso experimental.....	22
3.6.4.	Variables evaluadas.....	23
3.6.5.	Datos registrados.....	24
CAPITULO IV.	RESULTADOS.....	25
4.1.	Rendimiento de grano por ha.....	25
4.2.	Altura de planta.....	27
4.3.	Longitud de mazorca.....	29
4.4.	Diámetro de mazorca.....	31
4.5.	Número de hileras de grano por mazorca.....	33
4.6.	Numero de granos por hilera.....	36
7.7.	Peso de 100 granos.....	38

CAPITULO V.	DISCUSIÓN.....	41
CAPITULO VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
6.1.	Conclusiones.....	45
6.2.	Recomendaciones.....	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		47
ANEXOS.....		52

RESUMEN.

El presente trabajo de investigación titulado “Influencia de diferentes niveles de biochar como complemento a la fertilización en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en un inceptisol de Pucallpa,”. Se llevó a cabo en el Centro de Producción de la Universidad Nacional de Ucayali, con el objetivo de determinar el efecto de tres niveles de biochar por hectárea como complemento a la fertilización en el rendimiento del maíz amarillo duro en un Inceptisol de Pucallpa. Se evaluaron tratamientos con aplicaciones de 1000, 1500 y 2000 kg de biochar ha⁻¹, junto con una dosis de 100N-80P-100K ha⁻¹ y un testigo con la misma dosis, bajo un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Las variables analizadas incluyeron la altura de planta, longitud y diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera, peso de 100 granos y rendimiento por hectárea. Los resultados mostraron que el incremento de biochar, combinado con una reducción en el aporte de N, mejoró los componentes de rendimiento del maíz variedad Marginal 28-T. La combinación de 2000 kg de biochar con 100-80-60 de NPK registró los mayores promedios en longitud de mazorca (15.8 cm), número de hileras por mazorca (13.3), peso de 100 granos (19.05 g) y rendimiento por hectárea (4776 kg). Asimismo, el tratamiento con 1500 kg de biochar mostró los mejores promedios en altura de planta (2.32 m) y número de granos por hilera (30.7), aunque sin diferencias significativas respecto a otros tratamientos.

Palabras clave: Inceptisol, maíz, fertilización, biochar, dosis, rendimiento.

ABSTRACT.

The present research work titled “Influence of Different Levels of Biochar as a Complement to Fertilization on the Yield of Maize (*Zea mays* L.) in an Inceptisol of Pucallpa” was carried out at the Production Center of the National University of Ucayali. The objective was to determine the effect of three levels of biochar per hectare as a complement to fertilization on the yield of yellow corn in an Inceptisol of Pucallpa. Treatments were evaluated with applications of 1000, 1500, and 2000 kg of biochar ha⁻¹, along with a dose of 100N-80P-100K ha⁻¹ and a control with the same dose, under a completely randomized block design with 4 replications. The analyzed variables included plant height, length and diameter of the ear, number of rows per ear, number of grains per row, weight of 100 grains, and yield per hectare. The results showed that the increase in biochar, combined with a reduction in nitrogen input, improved the yield components of the Marginal 28-T maize variety. The combination of 2000 kg of biochar with 100-80-60 of NPK recorded the highest averages in ear length (15.8 cm), number of rows per ear (13.3), weight of 100 grains (19.05 g), and yield per hectare (4776 kg). Additionally, the treatment with 1500 kg of biochar showed the best averages in plant height (2.32 m) and number of grains per row (30.7), although without significant differences compared to other treatments.

Keywords: Inceptisol, corn, fertilization, biochar, dose, yield.

INDICE DE TABLAS

En el texto	Pág.
Tabla 1. Fuentes de variabilidad y grados de libertad en la Investigación.....	16
Tabla 2. Rendimiento de grano por hectárea por tratamiento según Duncan.....	26
Tabla 3. Altura de planta por tratamiento.....	28
Tabla 4. Longitud de mazorca por tratamiento según Duncan.....	30
Tabla 5. Diámetro de mazorca por tratamiento.....	32
Tabla 6. Numero de hileras de grano por mazorca por tratamiento.....	34
Tabla 7. Numero de granos por hilera por tratamiento.....	36
Tabla 8. Peso de 100 granos por tratamiento según Duncan.....	39
En el anexo:	
Tabla 9A. ANVA del rendimiento de grano por hectárea.....	55
Tabla 10A. ANVA de la altura de planta.....	55
Tabla 11A. ANVA de la longitud de mazorca.....	55
Tabla 12A. ANVA del diámetro de mazorca.....	56
Tabla 13A. ANVA de numero de hileras de grano por mazorca.....	56
Tabla 14A. ANVA de numero de granos por hilera.....	57
Tabla 15A. ANVA del peso de 100 granos.....	57

INDICE DE FIGURAS.

En el texto	Pág.
Figura 1. Croquis de distribución de unidades experimentales en maíz amarillo duro.....	18
Figura 2. Croquis de la unidad experimental en maíz amarillo duro.....	18
Figura 3. Ubicación satelital del ensayo (Fuente :Google eart).....	20
Figura 4. Datos climatológicos de Pucallpa 2023(Fuente:EMP-UNU).....	21
Figura 5. Rendimiento de grano por ha por tratamiento.....	27
Figura 6. Altura de planta por tratamiento.....	29
Figura 7. Longitud de mazorca por tratamiento.....	31
Figura 8. Diámetro de mazorca por tratamiento.....	33
Figura 9. Numero de hileras por mazorca por tratamiento.....	35
Figura 10. Numero de granos por hilera por tratamiento.....	37
Figura 11. Peso de 100 granos por tratamiento.....	40
En el anexo:	
Figura 12A. Análisis del suelo del área experimental.....	53
Figura 13A. Análisis especial del biochar para maíz amarillo duro.....	54
Figura 14A. Muestra de suelo.....	58
Figura 15A. Preparación del terreno.....	58
Figura 16A. Aplicación de biochar en cada unidad experimental.....	59
Figura 17A. Abonamiento.....	59
Figura 18A. Control de cogollero.....	60
Figura 19A. Evaluación post cosecha.....	60

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz amarillo duro tiene una singular importancia en nuestro país, porque el grano es el principal insumo destinado a la producción de alimentos balanceados para la industria avícola y otras crianzas.

Según el INEI (2023) a diciembre del 2022, Ucayali es una de las tres regiones del país que han contribuido con el 48% del total de producción nacional, detrás de Piura y La Libertad, con 25.321 t de grano cosechada de 10.419 ha y con un rendimiento promedio de 2.4 t/ha⁻¹ en los ecosistemas de altura y restingas.

Sin embargo, los productores no pueden maximizar el potencial de rendimiento que tienen los híbridos que son adaptados a las condiciones agroecológicas de los ecosistemas de altura y restingas, debido a usan un paquete tecnológico basado en la fertilización química, sin tomar en cuenta los niveles de fertilidad del suelo y el requerimiento nutricional del cultivo.

Actualmente, la tendencia hacia el uso de biofertilizantes como complemento de la fertilización química cobra cada vez mayor importancia, y por ello, esta brecha tecnológica genera un impulso para que, las instituciones académicas como las universidades, ocupen un espacio para encontrar alternativas viables que combinen un incremento en los niveles de producción de los cultivos, sin alterar profundamente el nivel de fertilidad del suelo. Una de estas alternativas lo constituye el uso del biochar producido a partir de los residuos de diferentes especies durante su proceso de transformación. En ese sentido, la aplicación del biochar procedentes de los residuos del procesamiento industrial de la madera al suelo es una estrategia sostenible por su potencial contribución con la mejora de las condiciones estructurales del suelo y como agente generador de condiciones favorables para la asimilación de nutrientes para las plantas.

CAPÍTULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y fundamentación del problema.

El maíz es un cultivo esencial en el ámbito agrícola, ya que ofrece diversas aplicaciones como fuente de nutrición para personas y animales. Sin embargo, durante el primer trimestre de 2024, nuestro país se vio en la necesidad de importar 339,888 toneladas en enero, 200.189 toneladas en febrero y 210.796 toneladas en marzo, con el objetivo de atender la creciente demanda del mercado interno.

A nivel nacional, la producción de maíz amarillo duro no satisface la demanda, por lo que se tiene que recurrir a la importación de este grano, el cual es usado para la producción avícola, principalmente.

A nivel regional, el cultivo de maíz amarillo duro se ha centralizado en las zonas aluviales de Yarinacocha, especialmente en los sectores de Vista Alegre, Parahuashá y Pacacocha, con la producción de maíces híbridos, que no logran maximizar su potencial genético, por problemas de la fertilidad escasa del suelo y por la exigencia del cultivo por altos niveles de fertilización química.

Por otro lado, el incremento del precio de los fertilizantes químicos, genera una tendencia hacia el uso de los biofertilizantes como complemento de la fertilización. Y en este sentido, el biochar se puede convertir en una alternativa viable no sólo para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, sino también para lograr beneficios económicos en la agricultura, la cual puede ser reconocida como una alternativa de mitigación y adaptación al cambio climático, ya que estudios convincentes han demostrado que, el biochar tiene el potencial para retener el N en el suelo, reduciendo pérdidas inútiles por lixiviación (Leach *et al*, 2012)

El biochar se puede producir de varias formas, desde hoyos en el suelo

hasta sofisticados hornos industriales de pirolisis. La pirolisis es la descomposición termoquímica de material orgánico a temperaturas elevadas. La palabra deriva de los elementos pyro ("fuego") y lysis ("separación") del idioma griego. El proceso se usa para producir carbón, carbón activado, metanol y otros productos químicos hechos de madera, para convertir dicloruro de etileno en cloruro de vinilo y hacer policloruro de vinilo, para producir coque a partir de carbón y convertir biomasa en gas sintético y biochar.

1.2. Formulación del problema.

1.2.1. Problema general

- ¿Será posible determinar el efecto de la aplicación de diferentes niveles de biochar por ha como complemento a la fertilización en el rendimiento del maíz amarillo duro en un Inceptisol de Pucallpa?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Será posible evaluar el efecto de aplicar 1000 kg de biochar ha^{-1} como complemento a la fertilización en el rendimiento del maíz amarillo duro en un Inceptisol de Pucallpa?
- ¿Será posible evaluar el efecto de aplicar 1500 kg de biochar ha^{-1} como complemento a la fertilización en el rendimiento del maíz amarillo duro en un Inceptisol de Pucallpa?
- ¿Será posible evaluar el efecto de aplicar 2000 kg de biochar ha^{-1} como complemento a la fertilización en el rendimiento del maíz amarillo duro en un Inceptisol de Pucallpa?

1.3. Objetivo general y objetivos específicos.

1.3.1. Objetivo general

- Determinar el efecto de la aplicación de tres niveles de biochar por ha como complemento a la fertilización en el rendimiento del cultivo de maíz amarillo duro en un Inceptisol de Pucallpa.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Evaluar el efecto de la aplicación de tres niveles de biochar como complemento a la fertilización en el rendimiento del cultivo de maíz amarilloduro en un Inceptisol de Pucallpa.
- Identificar el nivel de biochar que mejor se complemente con la fertilización y que incremente el rendimiento del cultivo de maíz amarillo duro en un Inceptisol de Pucallpa.

1.4. Hipótesis.

1.4.1. Hipótesis general

- Si aplico diferentes niveles de biochar como complemento a la fertilización química, entonces será posible determinar su efecto en el rendimiento del maíz amarillo en un Inceptisol de Pucallpa.

1.4.2. Hipótesis específica

- Si aplico diferentes niveles de biochar como complemento a la fertilización química, por lo menos uno de ellos tendrá mejor efecto en el rendimiento del maíz amarillo duro en un Inceptisol de Pucallpa.

1.5. Operacionalización de variables.

Las variables en estudio corresponden, por un lado, a los diferentes niveles de biochar que fueron probados para determinar su efecto como complemento a la fertilización química sobre los componentes de rendimiento del cultivo de maíz Marginal 28T, como son altura de planta, altura de inserción de la mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera, peso de 100 granos y rendimiento de grano ha⁻¹.

1.6. Justificación e importancia.

Actualmente, el maíz amarillo duro se cultiva en suelos que no cuentan con una adecuada fertilidad, por lo que tiene que recurrirse al uso de fertilizantes sintéticos, para garantizar su crecimiento y producción, los cuales han incrementado su costo, por los problemas de escasez de petróleo a nivel mundial.

Sin embargo, por ser una especie que tiene una exigente capacidad para absorber los nutrientes que son requeridos en gran proporción, es posible combinar las dosis de fertilización química con fuentes orgánicas que permitan influenciar en la capacidad productiva del cultivo.

Al respecto, la mayoría de investigaciones enfocadas en el uso del biochar no han demostrado beneficios económicos considerables que permitan promover su uso masivo en cultivos tropicales (Bach et al, 2016) por lo que se hace necesario el desarrollo de formulaciones de biochar que tengan una clara propuesta económica para los productores, en este caso, de maíz amarillo duro, cuya producción depende en gran medida, de la aplicación de fertilización sintética, dado que sin este incentivo económico, es poco probable que se evidencie el uso efectivo y generalizado en la agricultura, necesario para obtener el potencial de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) el cual es posible con el uso del biochar (Woolf et al, 2010).

1.7. Viabilidad.

El proyecto se considera viable porque se convierte en una herramienta útil para los productores de maíz de zonas de altura, donde los suelos presentan escasa fertilidad y es necesario propuestas de manejo agronómico, entre la que se encuentra la fertilización química acompañada con el complemento orgánico, para mejorar, por un lado, las propiedades físicas y químicas del suelo, así como para maximizar el potencial de rendimiento del cultivo.

1.8. Limitaciones.

No se presentaron limitaciones importantes durante el desarrollo del proyecto, salvo el cuidado que se tuvo para el ingreso de ganado vacuno de propiedad del Centro de Producción de la Universidad Nacional de Ucayali, así como del ataque de pájaros al momento del llenado de granos del maíz.

CAPITULO II.

MARCO TEORICO.

2.1. Antecedentes de la investigación.

2.1.1. Antecedentes internacionales

Mondragón *et al.*, (2021), evaluó el efecto del biochar en el rendimiento de una variedad comercial de maíz amarillo en Michoacán (México), producido por pirolisis de la biomasa seca de elotes de maíz a las dosis de 1% (T₁), 2% (T₂) y un control 0% (T₀). La dosis de fertilización comercial fue 200N-80P- 150K-30S para los tratamientos y el testigo. El diseño utilizado fue BCA con 4 repeticiones. Los resultados muestran un aumento de 1.2 y 1 t/ha⁻¹ para T₁ y T₂, respectivamente. Las variables peso de mazorca, peso de grano por planta, de peso de elote y longitud de mazorca, mostraron que el T₁ fue mayor que T₂ y a la vez, mayor que T₀. Las variables diámetro de tallo y peso seco de la planta fueron mayores en el T₁, mientras que, la altura de la planta y diámetro de tallo fueron mayores en el T₂. También se mostró una tendencia positiva en el desarrollo lateral de raíces en el T₂.

Por su parte, Quiguiri y Robalino (2019), evaluaron el efecto del biochar en la variación de las condiciones edáficas de un suelo en Pastaza (Ecuador), dando como resultado que, hubo un incremento de la densidad aparente de 0.35 a 0.41g/cm³, materia orgánica de 19.61 a 23.30%, carbón orgánico de 11.37 a 13.51%, acidez intercambiable de 1,86 a 2.22 Cmol/kg, Al intercambiable de 0.73 a 0.88 Cmol/kg, K de 0.14 a 0.16 Cmol/kg, Ca de 0.82 a 1.66 Cmol/kg, Mg de 0,26 a 0.41 Cmol/kg, mientras que el pH (4.30 a 4.45) y conductividad eléctrica (de 0.33 a 0.36 dS/m) obtuvieron un incremento no significativo, en cambio el P disminuyó de 6.14 a 2.32 ppm.

Iglesias *et al*; (2018), realizó un ensayo con objetivo de evaluar el efecto del residuo de la biomasa de eucalipto en el rendimiento del cultivo de maíz, variedad INIAP 103, mediante dos tipos de pirolisis y dos tipos de biomasa,

bajo un diseño BCA. Se evaluó peso de grano seco, índice de área foliar (IAF), peso de biomasa seca, contenido de NPK y proteína en grano. Los resultados muestran que el biochar de eucalipto muestra un aumento en el rendimiento y contenido de proteína en el grano del maíz.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Leveau *et al.*, (2021), desarrolló una investigación en San Ramón (Junín), con la finalidad de evaluar el efecto del biochar producido de residuos verdes y estiércol porcino en el rendimiento de maíz y el balance de N en suelos entisoles, mediante 5 tratamientos: (T₁) control, (T₂) aplicación de 7 t/ha⁻¹ de estiércol de cerdo, (T₃) aplicación de 17.5 t/ha⁻¹ de biochar, (T₄) aplicación de 23 t ha⁻¹ de biochar con ajuste de pH y (T₅) aplicación de 17.5 t/ha⁻¹ de biochar con ajuste de pH y de relación C/N. Se llegó a demostrar que, los tratamientos T₁ y T₂ obtuvieron los rendimientos más bajos con 0.41 y 2.45 t/ha⁻¹, cada uno, mientras que el T₅ produjo el mayor rendimiento de maíz (5.71 t/ha⁻¹). Por otro lado, los porcentajes de eficiencia de uso del N (EUN), fueron mayores para T₃, T₄ y T₅ con 28 y 56% de eficiencia, sucesivamente.

Por su parte, Zamora (2020), desarrolló una investigación en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) cuyo objetivo fue evaluar el biochar de *Guadua angustifolia* Kunth (bambú) como enmienda orgánica para el suelo. El biochar fue aplicado en concentraciones de 20, 40, 80 y 160 g, (los cuales equivalen a 5, 10, 20 y 40 t/ha⁻¹ respectivamente), en macetas de 10 kg. Luego, se evaluaron las propiedades físicas y químicas del suelo y el crecimiento y desarrollo del cultivo indicador (*Zea mays* L.). Se lograron rendimientos de 26.35 a 29.28% para la producción de biochar y éste tuvo una densidad promedio de 0.2594 g/cm³. Con la aplicación del biochar en dosis de 80 y 160 gramos se observaron tendencias de incremento en la altura, grosor de tallo, biomasa aérea y radicular del cultivo indicador. Sin embargo, estos resultados fueron inferiores a los obtenidos con el tratamiento fertilizado.

Ladd *et al.*, (2017), indica que, el objetivo de su estudio

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

2.1.3. Antecedentes locales.

No se ha encontrado trabajos de investigación publicados en el uso de biochar como remediador de suelos o como complemento a la fertilización orgánica y química en el cultivo de maíz, sin embargo se reporta un trabajo de investigación sin publicar en la Universidad Nacional de Ucayali, cuyo objetivo es determinar una dosis del biochar de la madera que genere cambio en algunas propiedades físicas y químicas de un suelo degradado de Pucallpa.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Descripción botánica

Hidalgo (2018) menciona que, el maíz amarillo duro es una gramínea anual, cuyo tallo es hueco y presenta nudos y entrenudos lisos, con un diámetro de 3 a 5 cm, en cuya parte basal salen las raíces que sirven para darle anclaje y resistencia a los problemas de tumbado; además de poseer entre 30 a 40 hojas alternas, tiene dos inflorescencias, una masculina ubicada en el ápice superior y la inflorescencia femenina que se inserta en la parte media de la planta.

Respecto a la flor femenina, Osambela (2022), indica que el ovario es muy pequeño, sin embargo, en la fase de floración, los pistilos tienen entre 20 a 40 cm de longitud, que terminan secándose al momento de la

maduración de la mazorca.

Linares (2019), sostiene que los granos de polen presentan un alto valor nutricional y se encuentran protegidos por los tricomas, y en la polinización no existe protandria, ya que ambos maduran al mismo tiempo, sin problemas de polinización. El autor sostiene además que, la mazorca muestra los cariósides o granos, cuyo pericarpio se encuentra unido a la testa, formando una capa que protege al embrión, el cual contiene entre 11 a 12% de aleuronas, mientras el endosperma tiene entre 80 a 85% de aleuronas.

2.2.2. Requerimiento nutricional del maíz amarillo duro

Bernal *et al.*, (2014), sostiene que la nutrición es un aspecto muy importante en el rendimiento del cultivo de maíz, especialmente de los híbridos de alto potencial genético, por lo que, los ensayos dan lugar a una serie de recomendaciones respecto a la aplicación de NPK, conforme al nivel de fertilidad del suelo aun cuando hay escasa información sobre fertilización del cultivo de maíz en suelos ácidos, dando lugar a un uso inadecuado e ineficiente y a elevados costos de producción por unidad de superficie.

Por su parte, Campos (2019), señala que el Nitrógeno debe ser suministrado antes y 30 días después de la fase de floración, y en caso de deficiencia, las hojas se tornan amarillentas, afectando el crecimiento y desarrollo de las mazorcas.

En cambio, Cárdenas (2016), sostiene que, el P debe ser suministrado en cantidades menores, aunque es requerido en las etapas iniciales para favorecer el crecimiento radicular, hojas y brotes meristemáticos, ya que un desbalance en la fecundación afecta el llenado de granos (Linares, 2019).

Respecto al K, Cárdenas (2016), menciona que, su requerimiento en dosis altas (cerca de 200 kg/ha⁻¹), se da principalmente en las etapas de crecimiento vegetativo (elongación de tallos y hojas), y su

deficiencia provoca desecación en los bordes foliares.

2.2.3. El biochar

El biochar, llamado en español biocarbón, es un material poroso sólido rico en carbono que se obtiene por la conversión termoquímica de la biomasa y de materiales orgánicos de origen agrícola o forestal en un ambiente limitado o carente de oxígeno (Pérez *et al.*, 2017).

El biochar es un material sólido rico en C y es producido por la descomposición térmica de biomasa a temperaturas por debajo de 1.000 ° C y en ausencia limitada de oxígeno que, con modificaciones especiales y aplicación “in situ” permite la inmovilización de contaminantes orgánicos, como son los hidrocarburos, e inorgánicos, como pueden ser los metales pesados en aguas y suelos, ofreciendo una protección al recurso hídrico cercano y la revegetación de la zona (Olmo, 2016).

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

El carbón vegetal ha estado con los seres humanos por milenios. A lo largo de la historia de varias civilizaciones han utilizado carbón vegetal finamente molido para mejorar las condiciones físicas, químicas y de fertilidad de los suelos, particularmente en cuanto a promover una mayor aireación a las raíces de los cultivos, retener el agua aprovechable y evitar que los nutrientes se lixivien. Las facultades del biochar descritas anteriormente han sido confirmadas por un gran número de investigaciones sobre el efecto de su aplicación a diferentes tipos de suelos, bajo climas diversificados y para la producción de muchas variedades de plantas (Olmo, 2016).

Por su parte, Ruiz (2019), sostiene que el biochar es un producto de la pirolisis que posee características únicas, como el elevado contenido de carbón, gran superficie específica y porosidad. Las experiencias de recuperación de suelos utilizando este producto han presentado resultados positivos, como la mejora de las propiedades físicas (porosidad del suelo, estructura y retención hídrica), químicas (pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico) y biológicas (aumento de la actividad de microorganismo), lo que permite un aumento en el rendimiento de las plantas. Por otro lado, una utilidad adicional del biochar es que la biomasa utilizada para su producción procede de residuos orgánicos que a veces ocasionan problemas de contaminación ambiental.

De igual modo, Yang *et al.*, (2019), señala que, la amplia aplicación de biochar se debe a su capacidad para eliminar contaminantes, remediar suelos contaminados y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En su investigación, se discutió la influencia de los métodos de preparación, los parámetros del proceso y los métodos de modificación en las propiedades fisicoquímicas del biochar, así como los mecanismos del biochar en la remediación de la contaminación del suelo. Se resumieron las aplicaciones del biochar en la remediación de suelos en los últimos años, como la eliminación de metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes (COP) y la mejora de la calidad del suelo. Finalmente, se analizaron los riesgos potenciales de la aplicación de biochar y las futuras direcciones de investigación.

Bartoli *et al.*; (2020), por su parte, destaca que, el biochar es el residuo sólido que se recupera tras el craqueo térmico de biomásas en una atmósfera libre de oxígeno. El biochar se ha utilizado durante muchos años como enmienda del suelo y en aplicaciones generales del suelo. No obstante, el biochar es mucho más que una mera enmienda del suelo. En su revisión informa todas las aplicaciones del biochar no relacionadas con el suelo, incluida la remediación ambiental, el almacenamiento de energía, los compuestos y la producción de catalizadores, brindando una descripción

general de los usos recientes del biochar en la ciencia de los materiales, presentando así este material barato y derivado de desechos como una fuente carbonosa de alto valor agregado.

Leveau *et al.*, (2021), señala que, las enmiendas en base a biochar tienen un efecto adecuado en el rendimiento del maíz, y la pérdida de N resulta ser menor cuando se aplica biochar al suelo. Sabiendo que el biochar mejora la producción del maíz, se tienen que buscar mejores estrategias para lograr el mayor potencial de mitigación al cambio climático de esta enmienda y será importante investigar y desarrollar estrategias que hagan económicamente viable el uso del biochar para el agricultor de pequeña escala.

Finalmente, Vilca *et al.*, (2022), sostiene que, el cambio de los residuos sólidos mediante pirólisis se convierte en una alternativa adecuada para la producción de biochar, el cual se puede emplear de diversas formas

2.3. Definiciones conceptuales.

2.3.1. Suelo Inceptisol

Suelos derivados tanto de sedimentos fluviónicos como residuales y que están formados por materiales líticos de naturaleza volcánica y sedimentaria. Son superficiales a moderadamente profundos y de topografía plana a quebrada (Vilca *et al.*, 2022).

2.3.2. Biochar

Es el residuo sólido que se recupera tras el craqueo térmico de biomásas en una atmósfera libre de oxígeno (Quiguiri & Robalino, 2019).

2.3.3. Dosis correcta:

El rendimiento de la mayoría de los cultivos es específico del sitio y época del año y dependen del cultivar, prácticas de manejo y clima, entre otros (Quiguiri & Robalino, 2019).

La aplicación de cantidades menores o mayores a las necesarias resulta en una pobre eficiencia de uso de los nutrientes o en pérdidas en el rendimiento y calidad del cultivo. El análisis de suelo sigue siendo una de las mejores herramientas para determinar la capacidad del suelo para suplementar nutrientes, pero para ser útil en el diseño de adecuadas recomendaciones de fertilización es necesario una buena calibración (Quiguiri & Robalino, 2019).

2.3.4. Requerimiento nutricional

Las plantas y cultivos necesitan nutrientes para su buen desarrollo y un óptimo rendimiento del cultivo. Estos nutrientes los toman del aire a través de las hojas (CO_2 y O_2) y, principalmente, del suelo a través de las raíces (macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg, S y micronutrientes: Fe, Mn, Zn, Cu, B, entre otros). Para que un suelo o sustrato tenga y proporcione todos los nutrientes que la planta necesita es necesario la fertilización, ya sea orgánica o química o ambas (Vilca *et al.*, 2022).

2.3.5. Biofertilizantes

Los biofertilizantes son formulados por uno o varios microorganismos benéficos, los que aumentan la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Presentan algunas ventajas comparativas como una producción a menor costo, protección del ambiente y aumento de la fertilidad biológica del suelo (Leveau, 2018).

2.3.6. Remediación

La remediación del suelo es el tratamiento o conjunto de procedimientos que se realizan con el propósito de recuperar la calidad del suelo contaminado (suelos y aguas subterráneas asociadas) (Quiguiri & Robalino, 2019).

2.3.7. Rendimiento

En agricultura, el rendimiento (también conocido como "productividad agrícola" o "producción agrícola"). La proporción de semillas es otra forma de calcular la productividad agrícola (Vilca *et al.*, 2022).

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA.

3.1. Método de investigación.

El método de investigación fue cuantitativo, considerado como un método estructurado de recopilación y análisis de información que es obtenido por la evaluación de las variables dependientes. Para ello, hacemos uso de herramientas estadísticas con el propósito de cuantificar el problema de la investigación.

3.2. Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación fue aplicativo y el nivel de investigación fue experimental y comparativo, con el propósito de comprobar la veracidad de la hipótesis planteada mediante protocolos previamente establecidos.

3.2.1. Población y muestra.

La población estuvo compuesta de 512 plantas de maíz amarillo duro variedad M 28T sembradas a una densidad de 0.80 m entre hileras y 0.40 m entre plantas, lo cual representa una densidad de 62 500 plantas por ha, por lo que se colocó dos (2) semillas por golpe. Por otro lado, la muestra corresponde a 8 plantas de las dos hileras centrales de cada unidad experimental, lo cual representa 128 plantas de maíz amarillo duro variedad M 28-T, en base a las 16 unidades experimentales.

3.3. Componentes en estudio.

Los componentes en estudio fueron establecidos, para el caso de las dosis de fertilización orgánico-mineral, en función de los resultados del análisis de suelo y el requerimiento nutricional del cultivo de maíz variedad Marginal 28T, y en el caso de las variables dependientes, se tomó en cuenta, las indicaciones del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 2017), para las evaluaciones de los componentes de rendimiento.

3.4. Tratamientos en estudio.

Variables independientes

T_1 = Testigo 100N - 80P - 100K/ha⁻¹.

T_2 = 1000 kg de biochar + 100N - 80P - 100K/ha⁻¹.

T_3 = 1500 kg de biochar + 100N - 80P - 100K/ha⁻¹.

T_4 = 2000 kg de biochar + 100N - 80P - 100K/ha⁻¹.

Variables dependientes

Rendimiento por hectárea

Altura de planta

Longitud de mazorca

Diámetro de mazorca

Numero de hileras por mazorca

Número de granos por hilera

Peso de 100 semillas.

3.5. Diseño experimental.

El diseño experimental usado fue de Bloques completos al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones por tratamiento y, cuando hubo diferencias significativas entre tratamientos en la evaluación de las variables dependientes, se aplicó la prueba de rangos múltiples de Duncan, al 5 % de significación.

Tabla 1.

Fuentes de variabilidad y grados de libertad en la investigación.

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

Dimensiones del área experimental

Del área total

Largo: 17.00 m

Ancho: 25.00 m

Área: 422.00 m²

Número total de plantas: 512 plantas

De las repeticiones

Numero de repeticiones: 4

Largo: 5.00 m

Ancho: 25.00 m Área: 125.00 m²

Número de plantas por repetición: 128 plantas

Separación entre repeticiones: 1.00 m

De la unidad experimental:

Número de unidades experimentales: 16

Largo: 5.00 m

Ancho: 3.20 m

Área: 16.0 m²

Numero de hileras por unidad experimental: 4 hileras

Distancia entre hileras: 0.80 m

Distancia entre plantas: 0.40 m

Número de plantas por hilera: 8 plantas

Número de plantas por unidad experimental: 32 plantas

Separación entre unidades experimentales: 1.00 m.

3.6. Ejecución del experimento.

El ensayo se inició delimitando el área experimental, para luego realizar la limpieza del terreno, extraer la muestra de suelo para su análisis de rutina y el alineado de las unidades experimentales, de acuerdo al croquis experimental.

El material de estudio fue adquirido de los productores de carbón, un sacode Pucallpa, por lo menos 50 kg de biochar, el cual se llevó al Laboratorio de Suelos de la FCA UNU, para posteriormente ser molido y tamizado convenientemente con tamiz N° 2, eliminando los elementos contaminantes. Del dicho saco, se extrajo una muestra de 500 g del material para su análisis de caracterización en el Laboratorio de Suelos del INIA Pucallpa.

Una vez seleccionadas las unidades experimentales, antes de los 15 días de la siembra, se aplicaron los niveles de biochar (0, 1000, 1500 y 2000 kg/ha⁻¹), según el croquis experimental, previo a la siembra del cultivo de maíz, en forma directa a la superficie del suelo y removiendo el producto de manera uniforme con una pala, para evitar su pérdida por las precipitaciones pluviales.

Después de 15 días de la aplicación, se realizó la siembra del maíz variedad Marginal 28 T a un distanciamiento de 0.80 m entre hileras y 0.40 m entre golpes, a dos plantas por golpe (62500 plantas kg/ha⁻¹), y a los 10 días después se hizo el deshije, dejando solo una planta por sitio.

La aplicación de la única dosis de fertilización con NPK fue establecida con la fórmula NPK 100-80-100, la cual fue tomada en cuenta por la referencia de ensayos realizados anteriormente y al nivel de fertilidad del suelo experimental, y fue desarrollada de la siguiente forma: la primera aplicación se realizó a los 12 días después de la siembra utilizando toda la fuente de P y el 50% de N y K, la segunda aplicación se realizó a los 35 días después de la siembra y se utilizó el 50% de K y N restante. La aplicación en cada etapa fue directa a 5 cm de la base de la planta, cubriendo el fertilizante con tierra para evitar su pérdida. Las fuentes comerciales usadas fueron Fosfato di amónico

como fuente de P_2O_5 y N, Urea como fuente de N y Cloruro de Potasio, como fuente de K_2O .

El mantenimiento del ensayo se efectuó mediante deshierbos manuales de forma semanal, y cuando apareció el ataque de *Spodoptera frugiperda* (cogollero) se hizo mediante control químico, aplicando Dypterex granulado a la dosis de 1 kg/ha^{-1} .

La fase de cosecha se realizó a los 123 días después de la siembra, extrayendo las muestras de mazorcas por unidad experimental, con la finalidad de proceder a evaluar las variables dependientes.

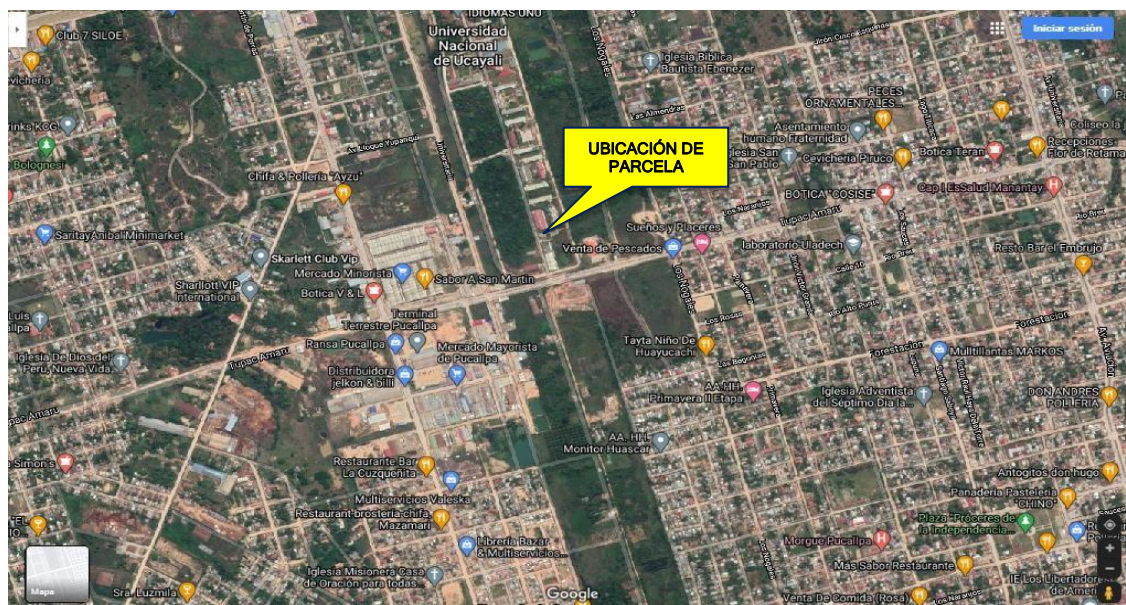
Una vez obtenidos los datos de las variables de rendimiento, se procesaron los datos con ayuda del paquete estadístico SAS y en base a los resultados de la prueba de Duncan ($P < 0.05$), se procedió a la redacción del informe final de la tesis.

3.6.1. Ubicación y duración del estudio.

La ubicación es la siguiente:

Figura 3.

Ubicación satelital del ensayo (Fuente: Google earth).



El ensayo se llevó a cabo en el terreno del Centro de Producción de la Universidad Nacional de Ucayali, situado en el kilómetro 6.200 de la

carretera Federico Basadre, más allá de la avenida Túpac.

Geográficamente, el ensayo se ubica en las siguientes coordenadas:

Longitud: 74° 34' 39.8"

Latitud: 08° 23' 39.6"

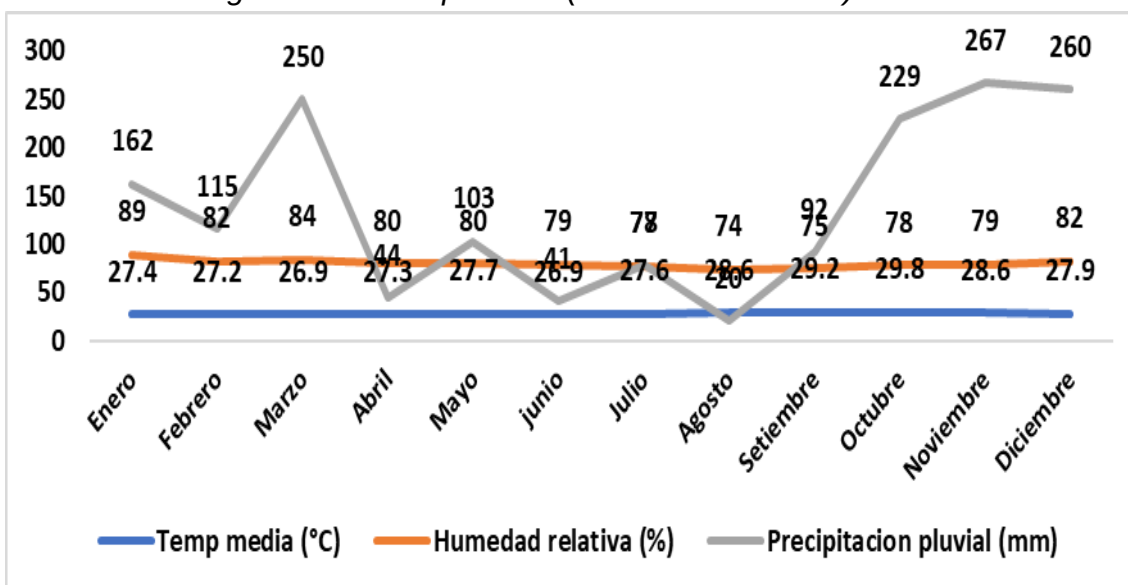
Altitud : 154 msnm.

3.6.2. Condiciones ambientales.

Ecológicamente, según el Sistema Holdridge, la zona en estudio se encuentra calificada como “bosque húmedo tropical” y de acuerdo a la clasificación de los Bosques amazónicos pertenece al ecosistema “bosques tropicales semi-siempre verde estacional” (Aybar *et al*, 2017).

Figura 4.

Datos climatológicos de Pucallpa 2023 (Fuente: EMP-UNU)



Por otro lado, el suelo experimental presenta una textura franca, con un pH neutro (6.27), contenido medio de materia orgánica (3.27%) y de N total (0.16%), bajo contenido de P disponible (9.83 ppm), entre las bases cambiables se tiene al Ca (4.70 cmol/kg), Magnesio (0.52 cmol/kg), potasio (0.31 cmol/kg) y una baja capacidad de intercambio catiónico (5.47 cmol/kg),

aun cuando los valores de Al e H, fueron trazas, según los resultados del Análisis de suelos que se reporta en el Anexo Figura 12.

Los datos climáticos de Pucallpa fueron proporcionados por la Estación Meteorológica Principal de la Universidad Nacional de Ucayali, conforme se aprecia en la Figura anterior.

Conforme se aprecia en la Figura 2, los datos de temperatura media tuvieron una tendencia normal entre los meses de octubre 2023 a enero 2024, que duró la fase de campo, reportándose, además, los más altos valores mensuales de precipitación pluvial en dicho lapso, lo cual favoreció el crecimiento y desarrollo de la planta de maíz.

3.6.3. Proceso experimental.

El ensayo fue iniciado con el planteamiento del objetivo para determinar la respuesta a la pregunta si es posible aumentar el rendimiento del maíz amarillo duro variedad Marginal 28 Tropical, aplicando diferentes dosis de biochar como complemento a la fertilización química en un Inceptisol de Pucallpa.

El proceso se desarrolla con la definición de los tratamientos en función al análisis de suelo y al requerimiento del cultivo de maíz, los cuales fueron aplicados, según el plan de fertilización, las dosis de biochar, antes de la siembra y la fertilización química en forma fraccionada, a los 12 y 35 días después de la siembra.

A la maduración del cultivo, se efectuó la evaluación de las variables de rendimiento y, luego de tabular los datos, estos fueron procesados en el análisis de varianza, para determinar la significación estadística y la prueba de Duncan al 0,05 nivel de significación, con lo cual se procedió a redactar el informe final del trabajo.

3.6.4. Variables evaluadas

Las evaluaciones de los indicadores de rendimiento se determinaron siguiendo las recomendaciones técnicas establecidas por el Centro Internacional de Investigación de Maíz y Trigo (CIMMYT, 2024) y son como sigue:

Rendimiento por hectárea.

Para estimar el rendimiento de grano/ha⁻¹ de cada unidad experimental, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento (kg/ha}^{-1}\text{)} = \text{Numero de plantas/ha}^{-1} \times \text{número de mazorcas por planta} \times \text{número de hileras por mazorca} \times \text{número de granos por hilera por peso de 100 granos /10000, al 14\% de humedad de grano.}$$

Altura de planta

Esta evaluación se llevó a cabo al momento de la cosecha, midiéndose el porte de planta a partir de la base del suelo hasta el nudo de inserción de la hoja bandera, midiéndose a las 8 plantas sucesivas de las dos hileras centrales de cada unidad experimental.

Longitud de mazorca

Para esta evaluación, se seleccionaron 8 mazorcas de las 8 plantas centrales de cada unidad experimental, y utilizando una cinta métrica, se procedió a medir la longitud de cada una de las mazorcas desde la base hasta la punta de cada una.

Diámetro de mazorca

Para esta evaluación, se seleccionó 8 mazorcas de las 8 plantas por cada unidad experimental, y utilizando un vernier, se procedió a medir el diámetro ecuatorial de cada una de las mazorcas, anotándose el registro en

la libreta de campo.

Número de hileras por mazorca

El conteo del número de hileras por mazorca se realizó en las mazorcas seleccionadas de las 8 plantas centrales de cada unidad experimental, contabilizándose el número de hileras de cada mazorca, y luego se anotó el registro en la libreta de campo.

Número de granos por hilera

El conteo del número de granos por hilera se llevó a cabo en las mazorcas seleccionadas anteriormente, contabilizando el número de granos por cada hilera de cada una de las 8 plantas centrales por cada tratamiento, registrándose el dato en la libreta de campo.

Peso de 100 granos

Esta evaluación consistió en desgranar por separado, las mazorcas de las 8 plantas centrales de cada tratamiento y luego se agruparon en seis lotes de 100 granos de maíz cada uno, procediéndose luego a pesar cada lote de 100 granos con ayuda de una balanza digital y anotar el registro en la libreta de campo.

3.6.5. Datos registrados.

Los datos fueron registrados en un formato Excel y responden a las diferentes medidas y peso que se realizaron durante la fase de maduración del cultivo, respecto a rendimiento de grano por ha, altura de planta, longitud y diámetro de mazorca, número de hileras, número de granos por mazorca y peso de 100 granos.

Estos datos debidamente ordenados por cada variable dependiente fueron procesados con ayuda del paquete estadístico SAS.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS.

Las evaluaciones de las variables dependientes fueron tomadas al momento de la maduración del cultivo y considerando los componentes de rendimiento como rendimiento de grano por ha, altura de planta, longitud y diámetro de mazorca, número de hileras y de granos por mazorca y peso de 100 granos.

4.1. Rendimiento de grano por ha.

El Anexo 3A presenta los resultados del análisis de varianza (ANVA) para el rendimiento de grano por hectárea. En este análisis, se consideran dos factores clave: los bloques y los tratamientos. Los bloques tienen 3 grados de libertad, con una suma de cuadrados de 2,614,335.1 y un cuadrado medio de 871,445.04. Esto da como resultado un valor F calculado de 1.96 y un valor p de 0.01, lo que indica que los bloques contribuyen significativamente a la variabilidad del rendimiento. Por otro lado, los tratamientos también tienen 3 grados de libertad, con una suma de cuadrados de 632,297.03 y un cuadrado medio de 210,765.67, resultando en un valor F de 0.47 y un valor p de 0.01. Esto sugiere que existen diferencias significativas en el rendimiento entre los distintos tratamientos aplicados.

El análisis también incluye un componente de error con 9 grados de libertad y una suma de cuadrados de 3,999,369.3, lo que refleja la variabilidad no explicada por los bloques y tratamientos. El total de grados de libertad es 15, con una suma total de cuadrados de 7,246,001.5. Se reporta un coeficiente de variación (CV) del 14.70%, indicando una variabilidad moderada en los datos, y un R^2 de 0.54, lo que implica que aproximadamente el 54% de la variabilidad en el rendimiento se puede explicar por los factores analizados. Estos resultados destacan la importancia de considerar tanto los bloques como los tratamientos al evaluar el rendimiento de grano, ya que ambos factores tienen un impacto significativo en los resultados obtenidos.

Tabla 2.

Rendimiento de grano por hectárea por tratamiento según Duncan.

T	Combinaciones de biochar + fertilización química	Rendimiento(kg/ha) (*)
T1	0 kg biochar por ha + 100N-80P-100K por ha (testigo)	4319.2 c
T2	1000 kg biochar por ha + 100N-80P-100K por ha	4352.2 bc
T3	1500 kg biochar por ha + 100N-80P-100K por ha	4691.7 b
T4	2000 kg biochar por ha + 100N-80P-100K por ha	4766.4 a

(*) letras iguales indican que no existen diferencias entre tratamientos.

La Tabla 2 muestra el rendimiento de grano por hectárea en función de diferentes combinaciones de biochar y fertilización química, evaluadas según la prueba de Duncan. Se presentan cuatro tratamientos: el testigo (T1), que no incluye biochar, y tres tratamientos que incorporan 1000 kg (T2), 1500 kg (T3) y 2000 kg (T4) de biochar, todos con una fertilización constante de 100N-80P-100K por hectárea. Los resultados indican que el rendimiento de grano aumenta con la cantidad de biochar aplicada, siendo el tratamiento T4 el que reporta el mayor rendimiento, con 4766.4 kg/ha. Las letras asignadas en la tabla indican que los tratamientos que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí.

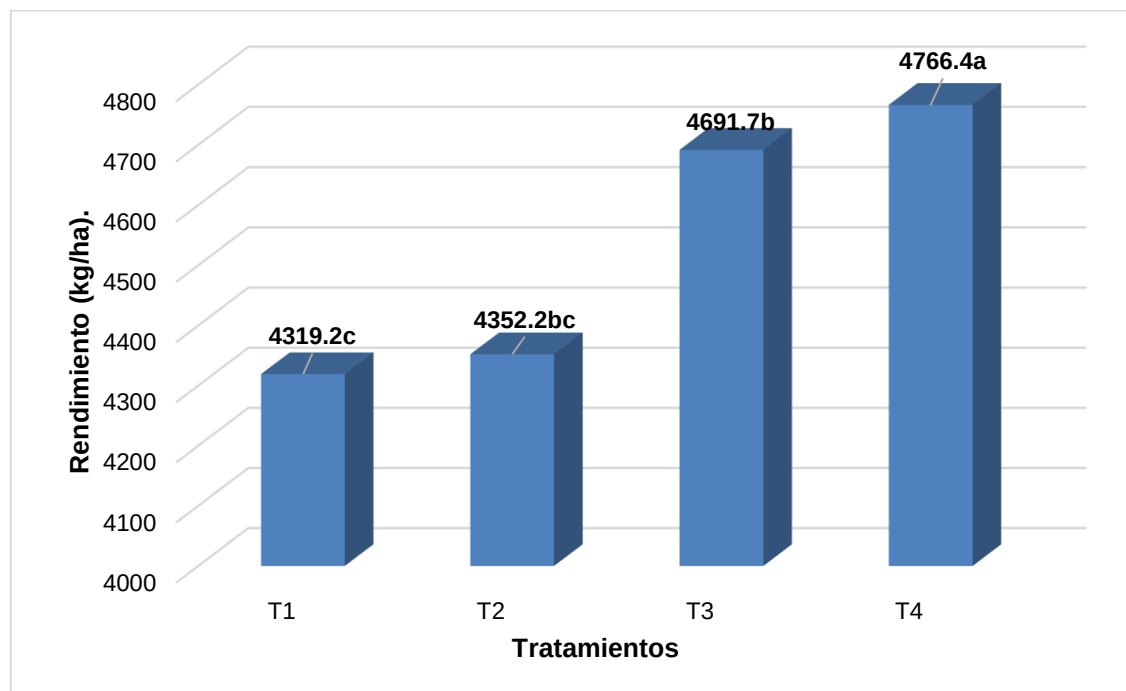
La prueba de Duncan revela que los tratamientos T3 y T4 tienen letras diferentes (b y a, respectivamente), lo que sugiere que el tratamiento con 2000 kg de biochar (T4) presenta un efecto positivo significativo en el rendimiento de grano en comparación con el testigo (T1) y el tratamiento T2. Sin embargo, los tratamientos T1 y T2 comparten la misma letra (c), indicando que no hay diferencias significativas entre ellos. Esto implica que la incorporación de 1000 kg de biochar no mejora significativamente el rendimiento en comparación con el testigo. En general, los resultados sugieren que mayores cantidades de

biochar están asociadas con un aumento en el rendimiento de grano por hectárea.

Sobre los resultados reportados, es posible que una menor contribución de las mayores dosis de biochar hayan influenciado en el rendimiento de grano, dado a su contribución en la etapa de llenado de grano, comparativamente con lo que registra con la menor dosis de biochar y el testigo.

Figura 5.

Rendimiento de grano por ha por tratamiento.



4.2. Altura de planta.

El Anexo 4A presenta los resultados del análisis de varianza (ANVA) para la altura de planta. En este análisis, se consideran dos factores principales: los bloques y los tratamientos. Los bloques tienen 3 grados de libertad, con una suma de cuadrados de 0.001 y un cuadrado medio de 0.0006. El valor F calculado para los bloques es de 0.07, con un valor p de 0.97, lo que indica que no hay diferencias significativas en la altura de planta atribuibles a los bloques. Esto sugiere que la variabilidad en la altura no se

explica por la variación entre los bloques.

Por otro lado, los tratamientos también tienen 3 grados de libertad, con una suma de cuadrados de 0.027 y un cuadrado medio de 0.0092. El valor F calculado para los tratamientos es de 1.11, con un valor p de 0.39, lo que indica que tampoco hay diferencias significativas en la altura de planta entre los distintos tratamientos aplicados. El componente de error presenta 9 grados de libertad y una suma de cuadrados de 0.075, lo que refleja la variabilidad no explicada por los bloques y tratamientos. En total, se reporta una suma de cuadrados de 0.105. Además, se observa un coeficiente de variación (CV) del 4.04%, lo que indica una baja variabilidad en los datos, y un R^2 de 0.68, sugiriendo que aproximadamente el 68% de la variabilidad en la altura de planta puede ser explicada por los factores analizados. Estos resultados indican que, en este estudio, ni los bloques ni los tratamientos tuvieron un impacto significativo en la altura de planta.

Tabla 3.

Altura de planta por tratamiento.

T	Combinaciones de biochar + fertilización química	Altura de planta en (m) (*)
T1	0 kg biochar + 100N-80P-100K por ha (testigo)	2.23 a
T2	1000 kg biochar + 100N-80P-100K por ha	2.22 a
T3	1500 kg biochar + 100N-80P-100K por ha	2.33 a
T4	2000 kg biochar + 100N-80P-100K por ha	2.27 a

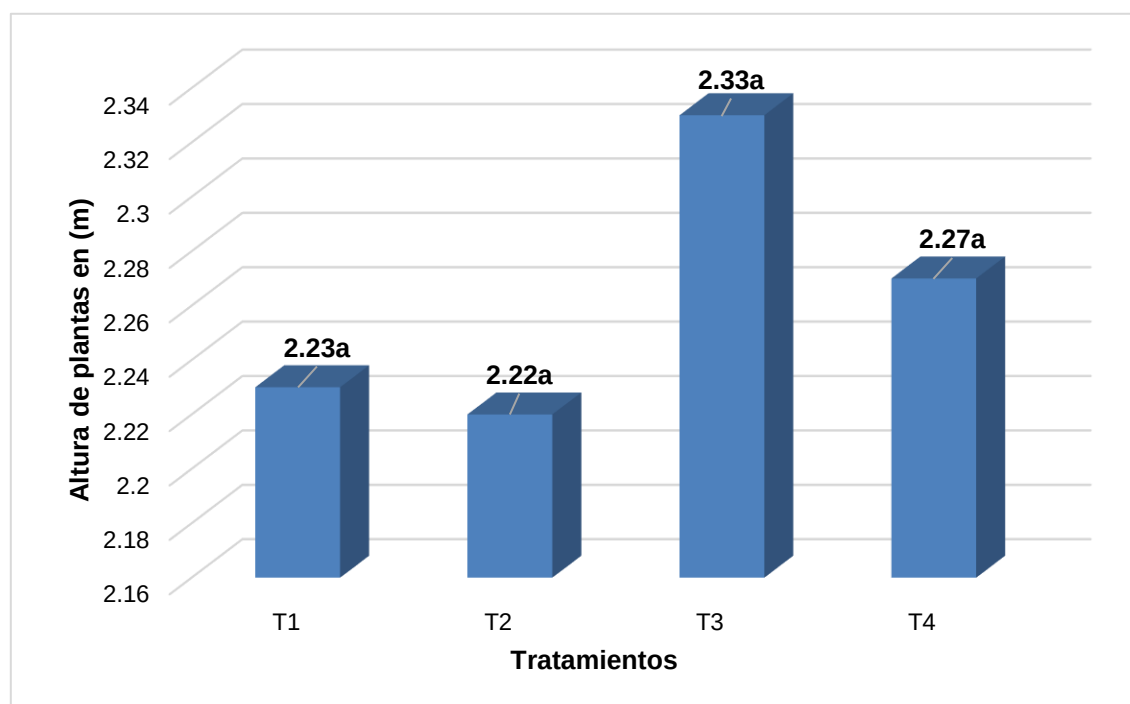
(*) letras iguales en la columna indican que no existen diferencias entre tratamientos.

La Tabla 3 muestra las alturas de planta por tratamiento, expresadas en metros (m), para diferentes combinaciones de biochar y fertilización química. El tratamiento T1 (testigo), que utiliza 0 kg de biochar y 100N-80P-100K por ha, presenta una altura de 2.23 m, mientras que el T2, que incluye 1000 kg de biochar, tiene una altura de 2.22 m. El T3, con 1500 kg de biochar, muestra una altura de 2.33 m, y el T4, que utiliza 2000 kg de biochar, alcanza 2.27 m. Todos los tratamientos están marcados con la letra "a", lo que indica que no

existen diferencias significativas entre ellos. Esto sugiere que la adición de biochar, en las cantidades evaluadas, no tuvo un impacto significativo en la altura de la planta en comparación con el testigo.

Figura 6.

Altura de planta por tratamiento.



4.3. Longitud de mazorca.

El Anexo 5A presenta los resultados del análisis de varianza (ANVA) para la longitud de mazorca. En este análisis, se consideran dos factores: los bloques y los tratamientos. Los bloques tienen 3 grados de libertad, con una suma de cuadrados de 4.08 y un cuadrado medio de 1.36. El valor F calculado para los bloques es de 0.048, con un valor p de 0.41, lo que indica que no hay diferencias significativas en la longitud de mazorca atribuibles a los bloques. Esto sugiere que la variabilidad en la longitud no se explica por la variación entre los bloques.

En cuanto a los tratamientos, también cuentan con 3 grados de libertad, presentando una suma de cuadrados de 1.83 y un cuadrado medio de 0.61.

El valor F calculado para los tratamientos es de 0.03, con un valor p de 0.70, lo que indica que no hay diferencias significativas en la longitud de mazorca entre los distintos tratamientos aplicados. El componente de error muestra 9 grados de libertad y una suma de cuadrados de 11.57, reflejando la variabilidad no explicada por los bloques y tratamientos. En total, se reporta una suma de cuadrados de 17.48, con un coeficiente de variación (CV) del 7.33% y un R^2 de 0.63, lo que sugiere que aproximadamente el 63% de la variabilidad en la longitud de mazorca puede ser explicada por los factores analizados. En resumen, ni los bloques ni los tratamientos tuvieron un impacto significativo en la longitud de mazorca en este estudio.

Tabla 4.

Longitud de mazorca por tratamiento según Duncan.

T	Combinaciones de biochar + fertilización química	Longitud (cm)(*)
T1	0 kg biochar + 100N-80P-100K por ha (testigo)	15.51 b
T2	1000 kg biochar + 100N-80P-100K por ha	14.90 b
T3	1500 kg biochar + 100N-80P-100K por ha	15.54 ab
T4	2000 kg biochar + 100N-80P-100K por ha	15.83 a

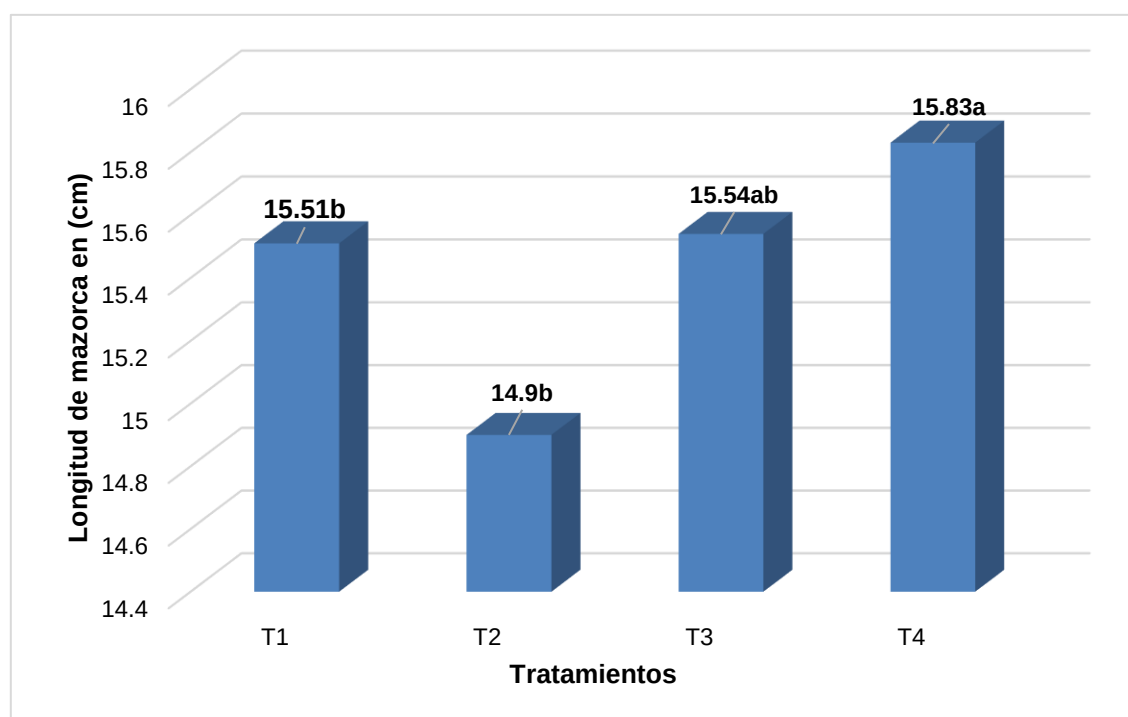
(*) letras iguales en la columna indican que no existen diferencias entre tratamientos.

La Tabla 4 presenta los resultados de la longitud de mazorca por tratamiento en función de diferentes combinaciones de biochar y fertilización química. Se analizan cuatro tratamientos: el testigo (T1), que no incluye biochar, y tres tratamientos que incorporan 1000 kg (T2), 1500 kg (T3) y 2000 kg (T4) de biochar, todos con una fertilización constante de 100N-80P-100K por hectárea. Los datos muestran que la longitud de la mazorca varía entre los tratamientos, siendo el tratamiento T4 el que presenta la mayor longitud, alcanzando 15.83 cm. Las letras asignadas indican que los tratamientos T1 y T2 comparten la misma letra (b), lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre ellos.

La prueba de Duncan permite identificar las diferencias significativas en la longitud de mazorca. En este caso, los tratamientos T3 y T4 tienen letras diferentes (ab y a, respectivamente), lo que indica que el tratamiento con 2000 kg de biochar (T4) tiene un efecto positivo significativo en la longitud de la mazorca en comparación con el testigo (T1) y el tratamiento T2. Por otro lado, el tratamiento T2 muestra una longitud menor (14.90 cm) y no presenta una mejora significativa respecto al testigo. Esto sugiere que la adición de cantidades mayores de biochar tiende a favorecer el crecimiento de las mazorcas, mientras que la cantidad de 1000 kg no resulta beneficiosa en este aspecto.

Figura 7.

Longitud de mazorca por tratamiento.



4.4. Diámetro de mazorca.

El Anexo 6A presenta los resultados del análisis de varianza (ANVA) para el diámetro de mazorca. En este análisis, se consideran dos factores: los bloques y los tratamientos. Los bloques tienen 3 grados de libertad, con una

suma de cuadrados de 0.049 y un cuadrado medio de 0.016. El valor F calculado para los bloques es de 0.89, con un valor p de 0.48, lo que indica que no hay diferencias significativas en el diámetro de mazorca atribuibles a los bloques. Esto sugiere que la variabilidad en el diámetro no se explica por la variación entre los bloques.

En cuanto a los tratamientos, también cuentan con 3 grados de libertad, presentando una suma de cuadrados de 0.018 y un cuadrado medio de 0.006. El valor F calculado para los tratamientos es de 0.33, con un valor p de 0.80, lo que indica que no hay diferencias significativas en el diámetro de mazorca entre los distintos tratamientos aplicados. El componente de error muestra 9 grados de libertad y una suma de cuadrados de 0.165, reflejando la variabilidad no explicada por los bloques y tratamientos. En total, se reporta una suma de cuadrados de 0.233, con un coeficiente de variación (CV) del 3.66% y un R^2 de 0.68, lo que sugiere que aproximadamente el 68% de la variabilidad en el diámetro de mazorca puede ser explicada por los factores analizados. En resumen, ni los bloques ni los tratamientos mostraron un impacto significativo en el diámetro de mazorca en este estudio.

Tabla 5.

Diámetro de mazorca por tratamiento.

T	Combinaciones de biochar + fertilización química	Diámetro(cm) (*)
T1	0 kg biochar + 100N-80P-100K por ha (testigo)	3.67 a
T2	1000 kg biochar + 100N-80P-100K por ha	3.75 a
T3	1500 kg biochar + 100N-80P-100K por ha	3.68 a
T4	2000 kg biochar + 100N-80P-100K por ha	3.72 a

(*) letras iguales en la columna indican que no existen diferencias entre tratamientos.

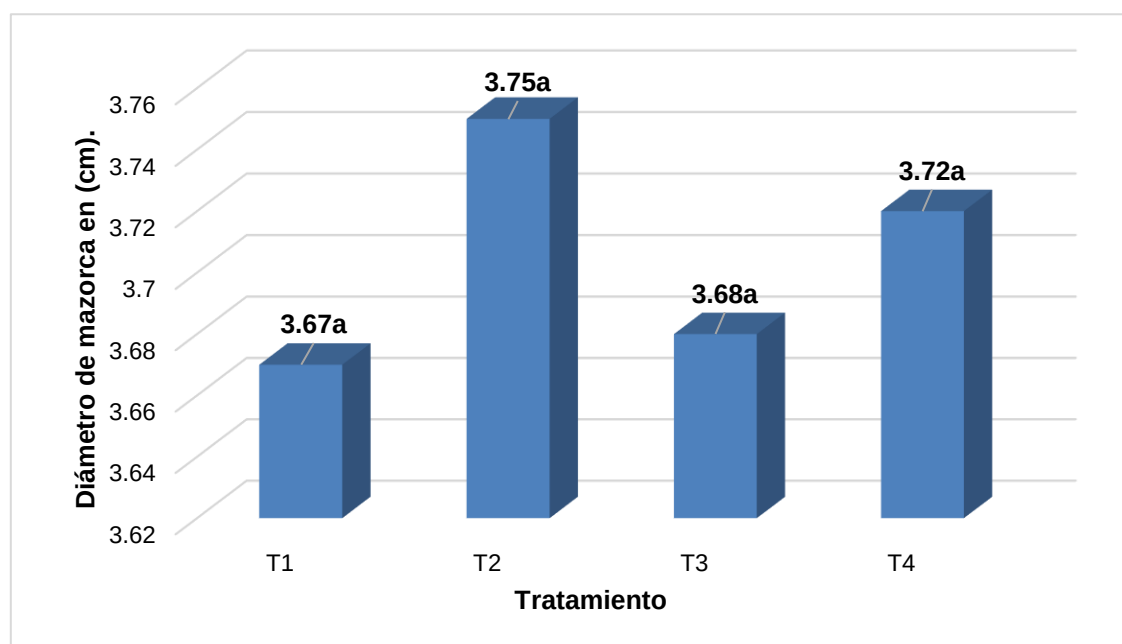
La Tabla 5 presenta el diámetro de mazorca por tratamiento, medido en centímetros (cm), para diferentes combinaciones de biochar y fertilización química. El tratamiento T1, que actúa como testigo con 0 kg de biochar y 100N-80P-100K por ha, muestra un diámetro de 3.67 cm. El tratamiento T2, que incluye 1000 kg de biochar, presenta un diámetro de 3.75 cm. Por su

parte, el tratamiento T3, con 1500 kg de biochar, tiene un diámetro de 3.68 cm, y el T4, que utiliza 2000 kg de biochar, alcanza 3.72 cm. Todas las combinaciones de tratamientos están marcadas con la letra "a", lo que indica que no existen diferencias significativas entre ellas.

Los resultados sugieren que, a pesar de las variaciones en las cantidades de biochar aplicadas, el diámetro de mazorca no se ve afectado de manera significativa por los tratamientos evaluados. Esto implica que, en las dosis utilizadas, el biochar no tiene un impacto notable en el diámetro de la mazorca en comparación con el testigo. La falta de diferencias significativas entre los tratamientos indica que otros factores podrían estar influyendo en el desarrollo del diámetro de mazorca, o que las cantidades de biochar aplicadas no son suficientes para generar un efecto observable en esta variable.

Figura 8.

Diámetro de mazorca por tratamiento.



4.5. Número de hileras de grano por mazorca.

El Anexo 7A presenta los resultados del análisis de varianza (ANVA) para el número de hileras de grano por mazorca. En este análisis, se consideran dos factores: los bloques y los tratamientos. Los bloques tienen 3

grados de libertad, con una suma de cuadrados de 1.52 y un cuadrado medio de 0.50. El valor F calculado para los bloques es de 3.47, con un valor p de 0.06. Este valor p indica que hay una tendencia hacia la significancia, sugiriendo que existe una diferencia en el número de hileras de grano entre los bloques, aunque no alcanza el nivel de significancia convencional de 0.05.

En cuanto a los tratamientos, también cuentan con 3 grados de libertad, presentando una suma de cuadrados de 0.80 y un cuadrado medio de 0.26. El valor F calculado para los tratamientos es de 1.82, con un valor p de 0.21, lo que indica que no hay diferencias significativas en el número de hileras de grano entre los distintos tratamientos. El componente de error muestra 9 grados de libertad y una suma de cuadrados de 1.52, reflejando la variabilidad no explicada por los bloques y tratamientos. En total, se reporta una suma de cuadrados de 3.65, con un coeficiente de variación (CV) del 2.93% y un R^2 de 0.63, lo que sugiere que aproximadamente el 63% de la variabilidad en el número de hileras de grano puede ser explicada por los factores analizados. En resumen, aunque los bloques muestran una tendencia hacia la significancia, los tratamientos no tienen un impacto significativo en el número de hileras de grano por mazorca en este estudio.

Tabla 6.

Número de hileras de grano por mazorca por tratamiento.

T	Combinaciones de biochar + fertilización química	Hileras por mazorca (*)
T1	0 kg biochar + 100N-80P-100K por ha (testigo)	13.06 a
T2	1000 kg biochar + 100N-80P-100K por ha	13.06 a
T3	1500 kg biochar + 100N-80P-100K por ha	12.68 b
T4	2000 kg biochar + 100N-80P-100K por ha	13.31 a

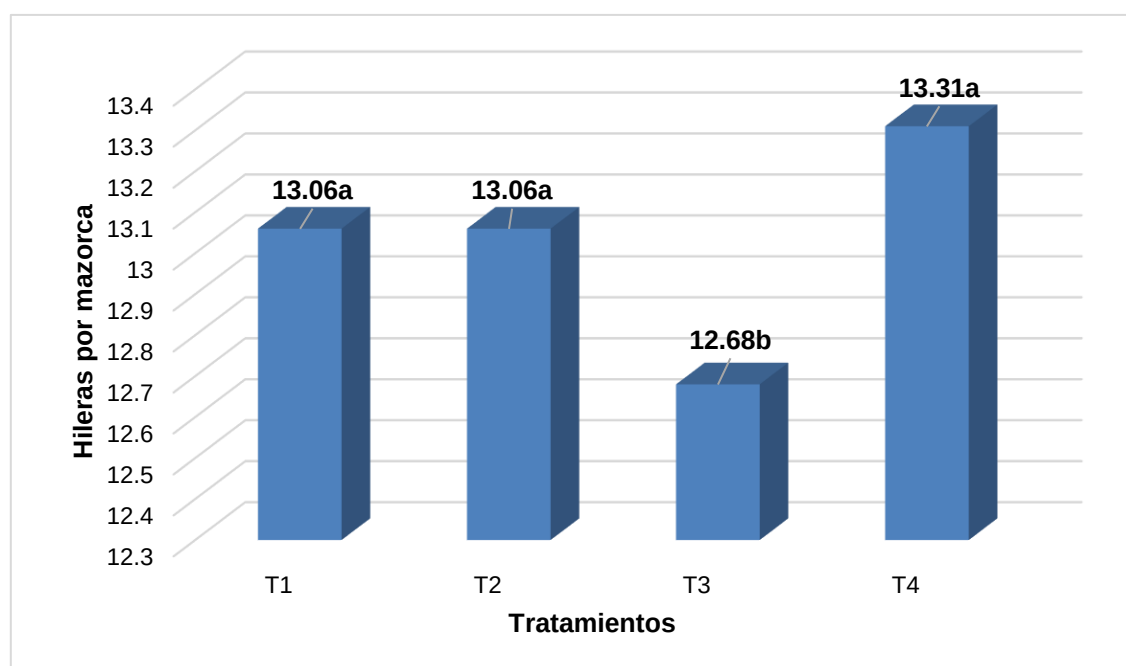
(*) letras iguales indican que no existen diferencias entre tratamientos

La Tabla 6 presenta el número de hileras de grano por mazorca para diferentes combinaciones de biochar y fertilización química. Los tratamientos T1 y T2, que incluyen 0 kg y 1000 kg de biochar respectivamente, muestran

un número de hileras de 13.06 cada uno, mientras que el tratamiento T3, que utiliza 1500 kg de biochar, presenta un valor de 12.68. Por su parte, el tratamiento T4, que incorpora 2000 kg de biochar, alcanza un número de hileras de 13.31. Las letras asignadas a cada tratamiento indican su significancia: T1, T2 y T4 están marcados con "a", lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre ellos, mientras que T3, marcado con "b", indica que su número de hileras es significativamente menor en comparación con los otros tratamientos.

En términos de significancia según el test de Duncan, los resultados sugieren que el uso de biochar en cantidades de 0 kg, 1000 kg y 2000 kg no afecta negativamente el número de hileras de grano por mazorca, ya que estos tratamientos presentan resultados estadísticamente similares. Sin embargo, el tratamiento con 1500 kg de biochar se destaca por tener un menor número de hileras, lo que indica que esta cantidad podría no ser óptima para maximizar el desarrollo de las hileras de grano. Esto resalta la importancia de la dosis de biochar, donde cantidades extremas pueden tener efectos adversos en el rendimiento de la mazorca.

Figura 9. *Numero de hileras por mazorca por tratamiento.*



4.6. Numero de granos por hilera.

El Anexo 8A presenta los resultados del análisis de varianza (ANVA) para el número de granos por hilera. En este análisis, se consideran dos factores: los bloques y los tratamientos. Los bloques tienen 3 grados de libertad, con una suma de cuadrados de 4.08 y un cuadrado medio de 1.36. El valor F calculado para los bloques es de 0.48, con un valor p de 0.41, lo que indica que no hay diferencias significativas en el número de granos por hilera entre los bloques, sugiriendo que la variabilidad en esta variable no se explica por la variación entre los bloques.

En cuanto a los tratamientos, también cuentan con 3 grados de libertad, presentando una suma de cuadrados de 1.83 y un cuadrado medio de 0.61. El valor F calculado para los tratamientos es de 0.042, con un valor p de 0.70, lo que indica que no hay diferencias significativas en el número de granos por hilera entre los distintos tratamientos aplicados. El componente de error muestra 9 grados de libertad y una suma de cuadrados de 11.57, reflejando la variabilidad no explicada por los bloques y tratamientos. En total, se reporta una suma de cuadrados de 17.48, con un coeficiente de variación (CV) del 7.33% y un R^2 de 0.73, sugiriendo que aproximadamente el 73% de la variabilidad en el número de granos por hilera puede ser explicada por los factores analizados. En resumen, tanto los bloques como los tratamientos no mostraron un impacto significativo en el número de granos por hilera en este estudio.

Tabla 7. *Numero de granos por hilera por tratamiento.*

N°	Combinaciones de biochar + fertilización química	Granos porhilera (*)
T1	0 kg biochar + 100N-80P-100K por ha (testigo)	29.41 b
T2	1000 kg biochar + 100N-80P-100K por ha	29.72 b
T3	1500 kg biochar + fertilización 100N-80P-100K por ha	30.47 ab
T4	2000 kg biochar + fertilización 100N-80P-100K por ha	30.69 a

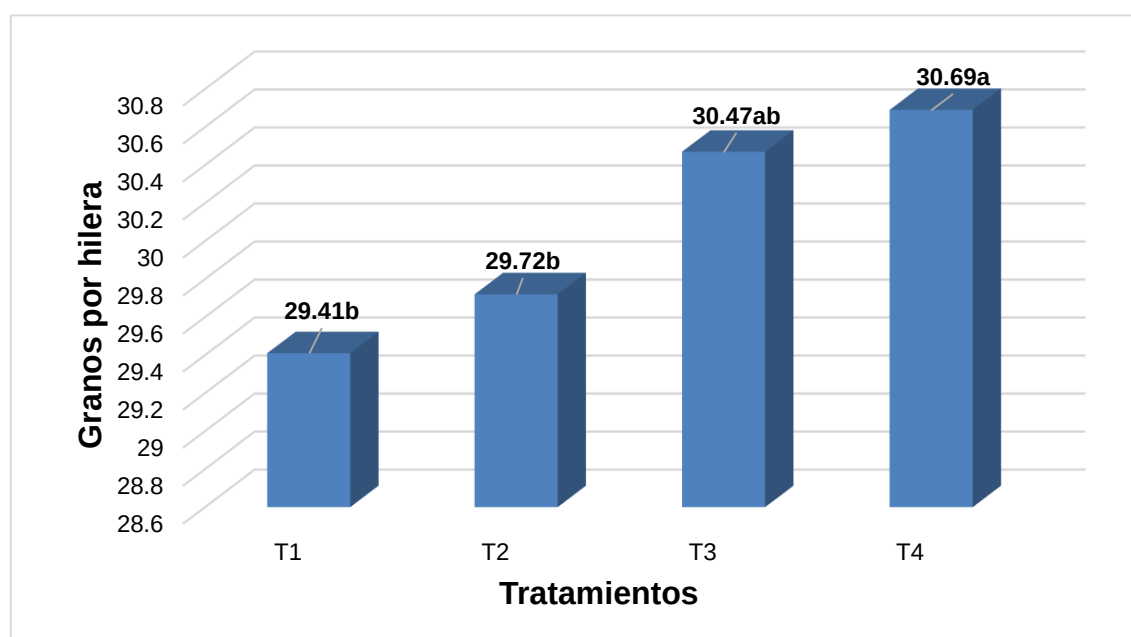
(*) letras iguales indican que no existen diferencias entre tratamientos.

La Tabla 7 muestra el número de granos por hilera en diferentes

combinaciones de biochar y fertilización química, evaluadas en función de la cantidad de biochar aplicada. Se presentan cuatro tratamientos: el testigo (T1) que no incluye biochar, y tres tratamientos que incorporan 1000 kg (T2), 1500 kg (T3) y 2000 kg (T4) de biochar, todos con una fertilización constante de 100N-80P-100K por hectárea. Los resultados indican que el número de granos por hilera aumenta con la cantidad de biochar, siendo el tratamiento T4 el que presenta el mayor número de granos, con 30.69 granos por hilera. Las letras asignadas a cada tratamiento reflejan la existencia de diferencias significativas en los resultados.

La prueba de Duncan revela que los tratamientos T3 y T4 tienen letras diferentes (ab y a, respectivamente), lo que sugiere que el tratamiento con 2000 kg de biochar (T4) tiene un efecto positivo significativo en el número de granos por hilera en comparación con el testigo (T1) y el tratamiento T2. Por otro lado, los tratamientos T1 y T2 comparten la misma letra (b), indicando que no hay diferencias significativas entre ellos. Esto implica que la incorporación de 1000 kg de biochar no mejora significativamente el número de granos en comparación con el testigo, mientras que cantidades mayores de biochar tienden a aumentar la producción.

Figura 10. *Numero de granos por hilera por tratamiento.*



4.7. Peso de 100 granos.

La Tabla 9A presenta los resultados del análisis de varianza (ANVA) para el peso de 100 granos. En este análisis, se consideran dos factores: los bloques y los tratamientos. Los bloques tienen 3 grados de libertad, con una suma de cuadrados de 12.62 y un cuadrado medio de 4.20. El valor F calculado para los bloques es de 0.048, con un valor p de 0.28, lo que indica que no hay diferencias significativas en el peso de 100 granos entre los bloques analizados, sugiriendo que la variabilidad observada no se debe a la variación entre estos.

En cuanto a los tratamientos, también cuentan con 3 grados de libertad, presentando una suma de cuadrados de 5.58 y un cuadrado medio de 1.86. El valor F calculado para los tratamientos es de 0.038, con un valor p de 0.60, lo que también sugiere que no hay diferencias significativas en el peso de 100 granos entre los distintos tratamientos aplicados. El componente de error muestra 9 grados de libertad y una suma de cuadrados de 25.93, reflejando la variabilidad no explicada por los bloques y tratamientos. En total, se reporta una suma de cuadrados de 44.14, con un coeficiente de variación (CV) del 9.20% y un R^2 de 0.61, indicando que aproximadamente el 61% de la variabilidad en el peso de 100 granos puede ser explicada por los factores analizados. En resumen, tanto los bloques como los tratamientos no mostraron un impacto significativo en el peso de 100 granos en este estudio. La Tabla 8 presenta el peso de 100 granos por tratamiento, evaluado.

Tabla 8.*Peso de 100 granos por tratamiento según Duncan.*

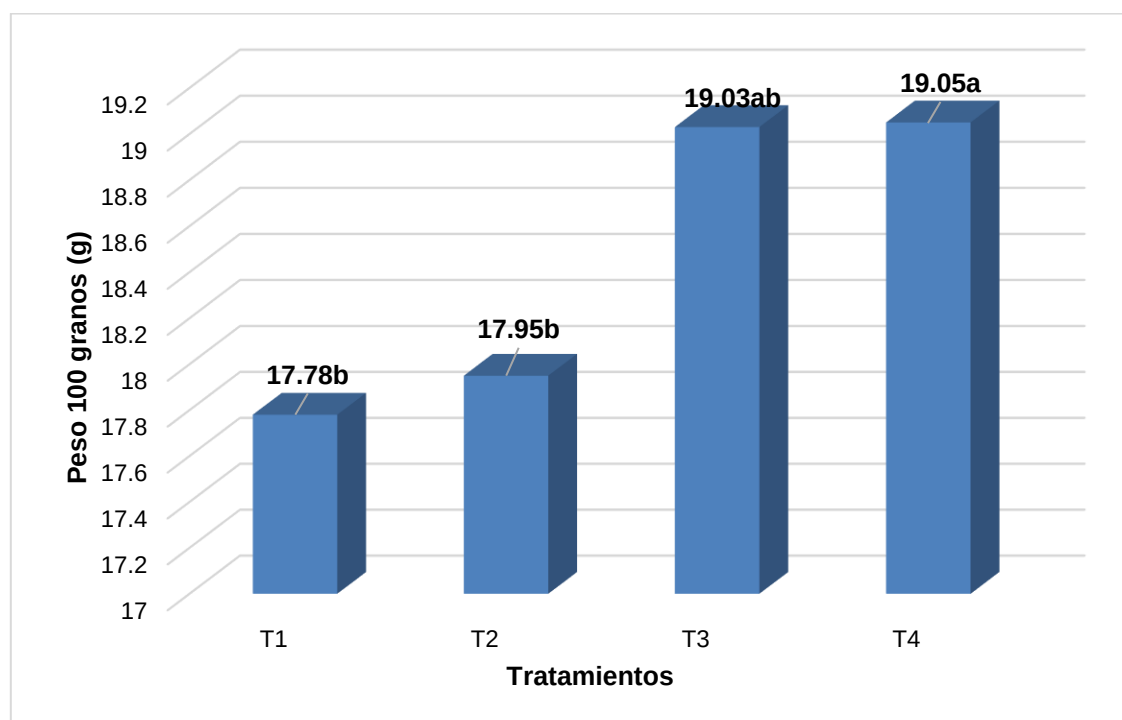
N°	Combinaciones de biochar + fertilización química	Peso 100 granos (g) (*)
T1	0 kg biochar + 100N-80P-100K por ha (testigo)	17.78 b
T2	1000 kg biochar + 100N-80P-100K por ha	17.95 b
T3	1500 kg biochar + 100N-80P-100K por ha	19.03 ab
T4	2000 kg biochar + 100N-80P-100K por ha	19.05 a

(*) letras iguales indican que no existen diferencias entre tratamientos.

La Tabla 8 presenta los resultados del peso de 100 granos en diferentes combinaciones de biochar y fertilización química, evaluadas mediante la prueba de Duncan. En esta tabla, se observan cuatro tratamientos: el testigo (T1) que no incluye biochar, y tres tratamientos que incorporan diferentes cantidades de biochar (T2, T3 y T4) junto con una fertilización química constante de 100N-80P-100K por hectárea. Los resultados muestran que el peso de 100 granos aumenta a medida que se incrementa la cantidad de biochar, alcanzando su valor más alto en el tratamiento T4, con 19.05 g. Las letras asignadas a cada tratamiento indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos que comparten la misma letra.

Figura 11.

Peso de 100 granos por tratamiento.



La prueba de Duncan permite identificar las diferencias significativas entre los tratamientos. En este caso, los tratamientos T3 y T4 tienen letras diferentes (ab y a, respectivamente), lo que sugiere que el tratamiento con 2000 kg de biochar (T4) presenta un efecto positivo significativo en el peso de 100 granos en comparación con el testigo (T1) y el tratamiento T2. Sin embargo, los tratamientos T2 y T1 comparten la misma letra (b), lo que indica que no hay diferencias significativas entre ellos. Esto sugiere que la incorporación de biochar a 1000 kg no mejora significativamente el peso de los granos en comparación con el testigo.

CAPÍTULO V.

DISCUSIÓN.

Rendimiento de grano por ha.

Los resultados en la Tabla 2 muestran que el tratamiento T1, sin biochar, presenta un rendimiento de 4319.2 kg/ha, mientras que T2, con 1000 kg de biochar, alcanza 4352.2 kg/ha, sin diferencias significativas entre ellos. Sin embargo, los tratamientos T3 y T4, que utilizan 1500 kg y 2000 kg de biochar, respectivamente, muestran rendimientos significativamente mayores de 4691.7 kg/ha y 4766.4 kg/ha. Esto sugiere que la adición de biochar mejora el rendimiento, especialmente en dosis más altas. La escasa variabilidad observada puede deberse a que las dosis utilizadas no alcanzaron el nivel óptimo requerido por cultivos exigentes como el maíz amarillo duro, y la lenta liberación de carbono del biochar podría haber limitado la absorción de nutrientes críticos durante el crecimiento. Estos hallazgos contrastan con estudios previos, como los de Iglesias et al. (2018), que reportaron rendimientos superiores con biochar derivado de eucalipto, y Mondragón et al. (2012), que observaron efectos positivos con dosis más altas de biochar a partir de olotes de maíz. Esto sugiere que la efectividad del biochar puede depender de su origen y la cantidad aplicada, así como de las características específicas del suelo en el que se utiliza.

Altura de planta.

En la Tabla 3, se observa que el tratamiento T1 (testigo) presenta una altura de 2.23 m, mientras que T2, con 1000 kg de biochar, alcanza 2.22 m. Los tratamientos T3 y T4 muestran alturas de 2.33 m y 2.27 m, respectivamente. Todos los tratamientos están marcados con la letra "a", indicando que no hay diferencias significativas entre ellos. Esto sugiere que, en las dosis evaluadas, la adición de biochar no tuvo un efecto notable en la altura de las plantas. La falta de respuesta en la altura de planta puede atribuirse a la lenta liberación de carbono del biochar, que podría no haber sido aprovechado adecuadamente por el maíz, un cultivo de ciclo corto.

Mondragón et al. (2021) argumentan que esta lentitud en la liberación de nutrientes puede limitar el crecimiento inicial de la planta. Aguirre y Alegre (2015) mencionan que la altura de planta y el peso de biomasa son indicadores clave para evaluar la eficacia de los tratamientos. Zamora (2020) encontró que a medida que aumenta la dosis de biochar, el diámetro y la altura de las plantas de maíz se asemejan a los promedios de los tratamientos fertilizados, sugiriendo un efecto positivo del biochar en el crecimiento. En contraste, Iglesias et al. (2018) reportaron alturas de planta que varían entre 2.31 y 2.67 m en tratamientos con biochar de eucalipto, indicando que ciertos tipos de biochar pueden tener un efecto más positivo en la altura de planta. Zamora (2020) también observó que el tratamiento fertilizado superó en altura a los tratamientos con biochar, aunque con un aumento en la dosis de biochar, la altura se acercó al comportamiento del tratamiento fertilizado.

Longitud de mazorca.

La longitud de mazorca es una variable predominantemente influenciada por el potencial genético de la planta, con un impacto ambiental limitado, como señala Hidalgo (2018). Este aspecto podría explicar por qué en nuestro ensayo no se observaron diferencias significativas en la longitud de mazorca al aplicar diferentes dosis de biochar. Al comparar nuestros resultados con los de Mondragón et al. (2012), quienes evaluaron el efecto de 9.2 y 18.4 t ha⁻¹ de biochar derivado de olotes de maíz en Michoacán, se observa que lograron una longitud de mazorca de 21.1 cm, considerablemente superior a los 15.8 cm obtenidos en nuestro estudio con 2000 kg de biochar ha⁻¹. Esto sugiere que otros factores, como el tipo de biochar o las condiciones específicas del cultivo, pueden influir en los resultados. Osambela (2023) reportó en Vista Alegre (Yarinacocha) que, utilizando una dosis de NPK de 260-180-60, logró mazorcas con una longitud promedio de 19.33 cm, también superior a la observada en nuestro ensayo. Por otro lado, Jiménez (2024), al aplicar una dosis de 180-70-120-9-50 de NPK+MgO+S en el híbrido NK 252, alcanzó una longitud de mazorca de 16.56 cm, que aunque es mayor a la nuestra, sigue siendo inferior a los resultados de Osambela. Adicionalmente, Alemán et al. (2020) reportaron una longitud de mazorca promedio de 17.22 cm al combinar

la fertilización química con 222 kg de urea ha^{-1} y 3416 kg ha^{-1} de Ecoabonaza. Estos datos refuerzan la idea de que la combinación de diferentes prácticas de manejo agronómico puede ser más efectiva para mejorar la longitud de mazorca que el uso exclusivo de biochar.

Diámetro de mazorca.

El diámetro de mazorca es un indicador clave de rendimiento que, según Hidalgo (2018), está principalmente determinado por el potencial genético de la planta, con escaso impacto del entorno. Esta perspectiva ayuda a entender los resultados de nuestro ensayo, donde no se encontraron diferencias significativas en el diámetro de mazorca al aplicar distintas dosis de biochar. Comparando nuestros hallazgos con los de Mondragón et al. (2012), quienes evaluaron el efecto de 9.2 y 18.4 t ha^{-1} de biochar derivado de olotes de maíz en las características agronómicas del maíz híbrido en Michoacán, se observa que lograron un diámetro de mazorca de 5.7 cm, significativamente mayor que el 3.75 cm registrado en nuestro estudio. Jiménez (2024) también reportó un diámetro de mazorca superior al nuestro, alcanzando 5.06 cm al aplicar una dosis de 180-70-120-9-50 de NPK+MgO+S en el híbrido NK 252. Por otro lado, Alemán et al. (2020) obtuvieron un diámetro de mazorca de 3.33 cm al combinar la fertilización química con 222 kg de urea ha^{-1} y 3416 kg ha^{-1} de Ecoabonaza, lo que sugiere que sus condiciones de manejo no fueron tan efectivas como las de Jiménez.

Numero de hileras por mazorca

El número de hileras por mazorca, al igual que otras variables agronómicas, puede atribuirse más al potencial genético de la planta que al efecto de las dosis de biochar, como señala Hidalgo (2018). Esta afirmación se respalda por los resultados obtenidos en nuestro ensayo, donde se reportó un promedio de hasta 13 hileras por mazorca. Al comparar nuestros hallazgos con los de Jiménez (2024), quien aplicó una dosis de 180-70-120-9-50 de NPK+MgO+S en el híbrido NK 252, se observa que logró un promedio de 16 hileras de grano por mazorca, superando significativamente nuestro resultado.

En contraste, Alemán et al. (2020) reportaron un número menor de hileras, con un promedio de 12.13, al combinar la fertilización química con 222 kg de urea ha^{-1} y 3416 kg ha^{-1} de Ecoabonaza. Por otro lado, Torres (2024), al aplicar una combinación de fertilización con NPK de 50-100-60 kg ha^{-1} y 3 t de compost ha^{-1} en Yarinacocha, obtuvo 13.7 hileras de grano por mazorca. Asimismo, Osambela (2023) logró 15.1 hileras en Vista Alegre (Yarinacocha) utilizando una dosis de 260-180-60 de NPK en el híbrido Atlas 777.

Numero de granos por hilera

Estos resultados sugieren que el uso de biochar, especialmente en cantidades de 1500 kg y 2000 kg, puede tener un efecto positivo en el número de granos por hilera, mostrando un incremento en comparación con los tratamientos testigo. Sin embargo, T3 y T4, aunque son significativamente diferentes de T1 y T2, no muestran una diferencia significativa entre sí. En comparación con otros estudios, se han reportado resultados superiores a los observados en nuestro ensayo (30.6 granos), como los de Torres (2024), quienes alcanzaron 36 granos por hilera; Osambela (2023) con 41 granos; Linares (2019) con 39 granos; y Jiménez (2024), así como Martínez et al. (2018) y Alemán et al. (2020), que reportaron 38 y 33 granos por hilera, respectivamente. Esto sugiere que, aunque nuestros resultados son competitivos, hay margen para mejorar mediante la optimización de las dosis de biochar y la combinación con fertilización química.

Peso de 100 granos

En nuestro ensayo, se obtuvo un peso de 100 granos de 19.06 g. Este resultado es considerablemente menor en comparación con otros estudios que han evaluado la fertilización orgánico-química. Por ejemplo, Torres (2024) reportó un promedio de 35.5 g al aplicar una dosis de 50-100-60 de NPK combinada con 3 t de compost ha^{-1} . Otros investigadores, como Linares (2019) y Jiménez (2024), también obtuvieron resultados superiores, con 36.6 g y 37.9 g, respectivamente.

CAPITULO VI.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. CONCLUSIONES.

Sobre los objetivos propuestos, se concluye:

- Se logró evaluar el efecto de las diferentes dosis de biochar en combinación con la fertilización química, demostrándose, que conforme se reduce el aporte de N y se incrementa la dosis de biochar en cada formulación combinada, se obtiene mejores resultados en los componentes de rendimiento del maíz variedad Marginal 28-T.
- Con la aplicación de la dosis combinada de 2000 kg de biochar más la dosis 100-80-60 de NPK, se registraron los mayores promedios para los indicadores de rendimiento, con 15.8 cm de longitud de mazorca, 13.3 hileras de grano por mazorca, 19.05 g de peso de 100 granos y 4776 kg ha⁻¹ de rendimiento de granos, sin mostrar diferencias significativas con las demás dosis probadas y con el testigo convencional.
- Con la aplicación de la dosis combinada de 1500 kg de biochar más la dosis 100-80-60 de NPK, se registraron los mayores promedios en altura de planta, con 2.33 m y en el número de granos por hilera con 30.7 granos, sin ser significativamente superior a los demás tratamientos.

6.2. RECOMENDACIONES.

Sobre los resultados encontrados en el ensayo, se recomienda:

- Continuar probando el efecto de la aplicación de la dosis combinada de 2000 kg de biochar más la dosis 100-80-60 de NPK, por ser la que mejor ha influenciado en el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz variedad Marginal 28T.
- Desarrollar investigaciones sobre el efecto de la aplicación de diferentes dosis de biochar en otras variedades e híbridos de maíz amarillo duro en suelos entisoles.
- Promover los resultados de la investigación como artículo científico través de revistas especializadas en el sector agrario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Aguirre, G; Alegre, J. 2015. Uso de fuentes no convencionales de Nitrógeno en la fertilización del maíz (*Zea mays* L.) en Cañete (Perú). *In* Revista Ecología Aplicada. Vol 14 N° 2 pp 157-162. Universidad Agraria La Molina. Lima. Perú.
- Alemán, R; Ortiz, N; Domínguez, J; Bravo, C; Alba, J; Rodríguez, Y; Pico, C; Freile, J. 2020. Desarrollo productivo de dos variedades de maíz (*Zea mays* L.), con la aplicación de fertilizante mineral y orgánico en la Amazonía ecuatoriana. *In* Revista Ciencia y tecnología (UTEQ) Vol 13 (1) p 9-16.
- Aróstegui, K. 2019. Evaluación del efecto de biochar de residuos desachachinchi y cacao sobre suelos degradados de Campo Verde, Ucayali, usando *Zea mays* como indicador. Tesis Ingeniero Ambiental. Universidad Científica del Sur. Lima Perú. 89p.
- Aybar, C; Lavado Casimiro, W; Sabino, E; Ramírez, S; Huerta, J; Felipe-Obando, O. 2017. Atlas de zonas de vida del Perú — Guía Explicativa. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Dirección de Hidrología. Lima Perú. 35 p.
- Bach, Q. V., Chen, W. H., Chu, Y. S., & Skreiberg, Ø. (2016). Predictions of biochar yield and elemental composition during torrefaction of forest residues. *Bioresource technology*, 215, 239-246.
- Bartoli, M. M. Giorcelli, P Jagdale, M. Rovere & A. Tagliaferro. 2020. Una revisión de las aplicaciones de biocarbón fuera del suelo. Departamentode Ciencias Aplicadas y Tecnología, Politécnico de Turín Italia.
- Bernal, J; Navas, G; Hernández, R. 2014. Requerimientos y respuestas a la fertilización del maíz en suelos de Sabanas Ácidas de Colombia.

CORPOICA. Consultado en línea. Disponible:

<https://fertilizar.org.ar/wp-B-Ruiz%20K.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Campos, H. 2019. Rendimiento de híbridos de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) en el Distrito de Coviriali — Satipo. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional del Centro. Jauja Junín. 85 p.

Cárdenas, N. 2016. Dosis de fertilización en el rendimiento de híbridos de maíz amarillo bajo condiciones edafoclimáticas de San Antonio Honorio. Tesis Universidad Nacional Hermilio Valdizán Huánuco. 89p.

CIMMYT - Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo de México. 2017. Manual para la estimación de productividad del cultivo del Maíz. Proyecto de Garantía Tecnológica, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo de México. 6 pp. content/uploads/2014/09/6.pdf _
Disponible: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/INIA_71bc0fe2967

Guerra, P. 2015. Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana Tesis Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú. 100 p.

Hidalgo, E. 2018. Paquete tecnológico del cultivo de maíz amarillo duro. Instituto Nacional de innovación Agraria INIA San Martín Tarapoto.

Iglesias, S., Alegre, J., Salas, C., & Egüez, J. 2018. El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 25-32. Consultado 02 de febrero 2023. Disponible: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.03>

Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI. 2023. Producción de maíz amarillo duro alcanzó 132 mil 728 toneladas y creció 7,9% en diciembre del 2022. Disponible: <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/produccion-de->

Jiménez, W. 2024. Efecto de una dosis de fertilización bajo dos fuentes y dos momentos de aplicación en el rendimiento de dos híbridos maíz (*Zea mays* L.) en un entisol de Yarinacocha. Tesis Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa. (*documento en prensa*).

Ladd, B., Dumler, S., Loret de Mola, E., Anaya de La Rosa, R., & Borchard, N. (2018). Incremento de rentabilidad en producción del maíz en Perú: N-fertilizantes y biocha. In Revista *The biologist*, 15(2), 351–358. Disponible: <https://revistas.unfv.edu.pe/rtb/article/view/194>

Leach, M., Fairhead, J., & Fraser, J. 2012. Green grabs and biochar: Revaluing African soils and farming in the new carbon economy. *The Journal of Peasant Studies*, 39:285–307.

Leveau, M; Dumler, S; Anaya, R; Alegre, J; Ladd Brenton. 2021. Uso de biocarbón en el balance de Nitrógeno en suelos aluviales de San Ramón. In Revista *Ecología Aplicada* Vol 20 N°2. Consultado en línea. Disponible: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-

Linares, F. 2019. Efecto de cinco dosis de fertilización de NPK sobre el crecimiento y rendimiento de maíz híbrido Agri 340 (*Zea mays* L.) en un Inceptisol de Pucallpa. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa. 62 p.
[maiz-amarillo-duro-alcanzo-132-mil-728-toneladas-y-crecio-79-en-](#)

Marín, K. 2022. Efecto de la aplicación de un abono orgánico a base de biofermento de pescado sobre el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad *Great Lakes* 659 en Pucallpa. Tesis

Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa. 52 p.

Mondragón, A. L. Medina., A. Sánchez., V. Núñez. 2021. Efecto de la aplicación de biocarbón en el rendimiento de maíz en Michoacán, México.

Disponible: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0

Olazo, E. 2014. Efecto de tres niveles de fertilización en el rendimiento del maíz híbrido amarillo duro (*Zea mays* L.) bajo un sistema de riego por goteo en suelo ácido de Pucallpa. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa. 76 p. 187-57792021000100138. 22162021000200179 40d31d298a011d1cbb3f6713.pdf.

Olmo, M. 2016. Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba. España. 157 p. Consultado en línea. 12 de enero del 2023. Disponible: <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Osambela, I. 2022. Respuesta agroeconómica a la fertilización con NPK del maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) híbrido Atlas 777 en condiciones de Vista Alegre Ucayali. Tesis Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa 78p.

Quiguiri Chugñay, M. R., & Robalino Zambrano, D. A. (2019). Variación de condiciones edáficas en el proceso de restauración con enmiendas de biocarbón (Bachelor's thesis, Universidad Estatal Amazónica).

Torres, Y. 2024. Evaluación del rendimiento del maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) variedad M 28T por la aplicación de diferentes dosis de fertilización orgánico-mineral bajo las condiciones edafoclimáticas de un entisol de Yarinacocha. Tesis Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa (*documento en prensa*).

- Vilca, K, S. Rodríguez, S. Atarama, C. Cueva, W. Concha. J. M. Atausupa & W. Gosgot, W. 2022. *Pirólisis: Una revisión de conceptos y aplicaciones en la gestión de residuos sólidos*. In Revista Universidad Nacional Toribio.
- Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature communications*, 1(1), 56.
- Yang, X. S. Zhang, M. Ju & L. Liu. 2019. Preparación y modificación de materiales de biocarbón y su aplicación en la remediación de suelos. Escuela de Ciencia Ambiental e Ingeniería Universidad de Nankai, Tianjin, China
- Zamora, G. 2020. El biochar de *Guadua angustifolia* Kunth procedente de los residuos del aprovechamiento de plantaciones forestales como enmienda orgánica para el suelo. Tesis Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.112 p.

ANEXOS.

Figura 12A.
Análisis de suelo del área experimental.



CRÉDITOS: COSTIN, KM 125 - TINGO MARIA

GRACIA POR SU PREFERENCIA

MAIL:GARCIA@UNAGSELVA.COM
WHATSAPP: 977145231

Figura 13A.

Análisis especial del biochar para maíz amarillo duro.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

ANALISIS ESPECIAL

LASAE

1. DATOS

SOLICITANTE:	VANNIA INES GARCIA LOVERA	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	UCAYALI	FECHA DE RECEPCION:	15/02/2024
PROVINCIA:	CORONEL PORTILLO	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	15/02/2024
DISTRITO:	---	FECHA DE REPORTE:	27/02/2024
SECTOR:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI	RECIBO O FACTURA:	B086-2024
MUESTRA:	BIOCHAR	OBSERVACION:	---

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS EN BASE HUMEDA					RESULTADOS EN BASE SECA										
Código	Dato	PH	CE (mS/cm)	Humedad Hd (%)	Materia Seca (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Zn ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm
B086-2024	UNU-003-VIGL	7.78	0.45	3.428	96.572	77.702	18.870	1.025	0.179	0.653	0.710	0.058	0.400	38.73	2702.57	8.32	177.43

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI

Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

analisisdesuelosunas@hotmail.com

CELULAR 944407531

Tabla 9A.*ANVA de Rendimiento de grano por hectárea.*

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Bloques	3	2614335.1	871445.04	0.01	0.19
Tratamientos	3	632297.03	210765.67	0.01	0.70
Error	9	3999369.3	444374.37		
Total	15	7246001.5			
CV = 14.70 %				$R^2 = 0.54$	

Tabla 10A.*ANVA de Altura de planta.*

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Bloques	3	0.001	0.0006	0.07	0.97
Tratamientos	3	0.027	0.0092	1.11	0.39
Error	9	0.075	0.0083		
Total	15	0.105			
CV = 4.04 %				$R^2 = 0.68$	

Tabla 11A.*ANVA de Longitud de mazorca.*

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Bloques	3	4.08	1.36	0.048	0.41
Tratamientos	3	1.83	0.61	0.03	0.70
Error	9	11.57	1.28		
Total	15	17.48			
CV = 7.33 %				$R^2 = 0.63$	

Tabla 12A.*ANVA de Diámetro de mazorca.*

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Bloques	3	0.049	0.016	0.89	0.48
Tratamientos	3	0.018	0.006	0.33	0.80
Error	9	0.165	0.018		
Total	15	0.233			
CV = 3.66 %			$R^2 = 0.68$		

Tabla 13A.*ANVA de Numero de hileras de grano por mazorca.*

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Bloques	3	1.52	0.50	3.47	0.06
Tratamientos	3	0.80	0.26	1.82	0.21
Error	9	1.52	0.14		
Total	15	3.65			
CV = 2.93 %			$R^2 = 0.63$		

Tabla 14A.*ANVA de Numero de granos por hilera.*

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Bloques	3	4.08	1.36	0.48	0.41
Tratamientos	3	1.83	0.61	0.042	0.70
Error	9	11.57	1.28		
Total	15	17.48			
CV = 7.33 %			$R^2 = 0.73$		

Tabla 15A.*ANVA del Peso de 100 granos.*

Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr > F
Bloques	3	12.62	4.20	0.048	0.28
Tratamientos	3	5.58	1.86	0.038	0.60
Error	9	25.93	2.88		
Total	15	44.14			
CV = 9.20 %			$R^2 = 0.61$		

Figura 14A.

Muestra de suelo.



Figura 15A.

Preparación de terreno.



Figura 16A.

Aplicación de biochar en cada unidad experimental.



Figura 17A.

Abonamiento.



Figura 18A.

Control del cogollero.



Figura 19A.

Evaluaciones post-cosecha.

