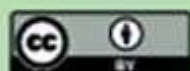




Esta obra está bajo una
[Licencia Creative Commons
Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
Vea una copia de esta licencia en
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

Tesis

**Recuperación de suelos ácidos para maíz
amarillo duro, mediante encalado, biochar y
microorganismos promotores del crecimiento en
Alto Amazonas**

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

Autor:

Sergio Axel Coral Cárdenas
<https://orcid.org/0000-0002-7747-1893>

Asesor:

Ing. M.Sc. José Carlos Rojas García
<https://orcid.org/0000-0002-5273-0182>

Coasesor:

Ing. Henry Diaz Chuquizuta
<https://orcid.org/0009-0009-3908-9384>

Tarapoto, Perú

2025



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

Tesis

**Recuperación de suelos ácidos para maíz
amarillo duro, mediante encalado, biochar y
microorganismos promotores del crecimiento en
Alto Amazonas**

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

Autor:

Sergio Axel Coral Cárdenas

Sustentado y aprobado el 21 de febrero de 2025 ante el honorable jurado

Presidente de Jurado
Blgo. M.Sc. Oscar Rojas Sánchez

Secretario de Jurado
Ing M.Sc. Harry Saavedra Alva

Vocal de Jurado
Ing M.Sc. Luis Alberto Ordoñez
Sánchez

Asesor
Ing. M.Sc. José Carlos Rojas
García

Coasesor
Ing. Henry Diaz Chuquizuta

Tarapoto, Perú
2025



**Acta de sustentación de trabajos de investigación conducentes a grados
y títulos Nº 001-2025**

Jurado reconocido con Resolución de Consejo de Facultad Nº106-2024-UNSM/FCA/CF

Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Agronomía.

A las 10:05 horas, del 21 de Febrero del 2025, en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNSM, inicio el acto público de sustentación del trabajo de investigación "Recuperación de suelos ácidos para maíz amarillo duro, mediante encalado, biochar y microorganismos promotores del crecimiento en Alto Amazonas" para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo, presentado por Sergio Axel Coral Cárdenas, con la asesoría del Ing. M.Sc. José Carlos Rojas García.

Instalada la Mesa Directiva conformada por Blgo. M.Sc. Oscar Rojas Sánchez (presidente del jurado), Ing. M.Sc. Harry Saavedra Alva (secretario), Ing. M.Sc. Luis Alberto Ordoñez Sánchez (vocal), y acompañado por el Ing. M.Sc. José Carlos Rojas García (asesor); el presidente de jurado dirigió brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la Resolución de Consejo de Facultad Nº 446-2024-UNSM/FCA/CF.

Seguidamente el autor expuso el trabajo de investigación y el jurado evaluador realizó las preguntas pertinentes, respondidas por el sustentante y eventualmente, con la venia del jurado, por el asesor. Una vez terminada la ronda de preguntas, el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto, sin la presencia del sustentante y otros participantes del acto público.

Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según la Tabla Nº 2 del Anexo 4.2 del RG – CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue Quince (15); tal como se deja constar en la siguiente descripción:

| Criterio | Graduación | Puntaje medio | Jurado 1 | Jurado 2 | Jurado 3 |
|--|------------|---------------|----------|----------|----------|
| <u>Aspectos preliminares sobre el informe (50%):</u> | | | | | |
| Originalidad de la investigación. | Excelente | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Bueno | | | | |
| Claridad en la identificación del problema, hipótesis de trabajo y objetivos propuestos. | Excelente | | | | 2 |
| | Bueno | 1,3 | 1 | 1 | |



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE SAN MARTIN**

**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS**

**Acta de sustentación de trabajos de investigación conducentes a grados
y títulos Nº 001-2025**

Ing. M.Sc. Harry Saavedra Alva
Secretario del jurado

Blgo. M.Sc. Oscar Rojas Sánchez
Presidente del jurado

**Ing. M.Sc. Luis Alberto Ordoñez
Sánchez** Vocal del jurado

Bach. Sergio Axel Coral Cárdenas
Autor

Ing. M.Sc. José Carlos Rojas García
Asesor

Declaratoria de autenticidad

Sergio Axel Coral Cárdenas, con DNI N° 74255099, egresado de la Escuela Profesional de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Recuperación de suelos ácidos para maíz amarillo duro, mediante encalado, biochar y microorganismos promotores del crecimiento en Alto Amazonas.**

Declarajo bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumimos bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 21 de febrero de 2025





Sergio Axel Coral Cárdenas
D.N.I. 74255099

Ficha de identificación

| | |
|--|--|
| <p>Título del proyecto Recuperación de suelos ácidos para maíz amarillo duro, mediante encalado, biochar y microorganismos promotores del crecimiento en Alto Amazonas.</p> | <p>Área de investigación: Ciencias Agrícolas y Forestales. Línea de investigación: Manejo de suelos tropicales. Sublínea de investigación: Conservación de suelos. Grupo de investigación: Manejo de Suelos Tropicales N° 039-2022-UNSM/FCA/CF Tipo de investigación: Descriptiva <input type="checkbox"/> Básica <input checked="" type="checkbox"/>, Aplicada <input type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input checked="" type="checkbox"/></p> |
| <p>Autor: Sergio Axel Coral Cárdenas</p> | <p>Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Agronomía https://orcid.org/0000-0002-7747-1893</p> |
| <p>Asesor: Ing. M.Sc. José Carlos Rojas García</p> | <p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Agronomía Unidad o Laboratorio Agronomía https://orcid.org/0000-0002-5273-0182</p> |
| <p>Coasesor: Ing. Henry Díaz Chuquizuta</p> | <p>Contraparte científica: Facultad o Institución: Instituto Nacional de Investigación Agraria Unidad o Laboratorio: Proyecto suelos y aguas País: Perú https://orcid.org/0009-0009-3908-9384</p> |

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mis padres Samuel Coral Ramírez y Adela Cardenas Ríos, por sus sacrificios, valores inculcados y amor inquebrantable.

A mis compañeros de trabajo, los cuales creyeron que esto se podría lograr y no dudaron en brindarme su apoyo y sobre todo esa constante motivación para seguir adelante y cumplir mis metas.

Agradecimientos

Al **Ing. M.sc. José Carlos Rojas García**, docente de la Universidad Nacional de San Martín, asesor de la presente tesis, el cual me brindo gran apoyo para la investigación de este trabajo, exponiendo sus conocimientos en el campo de la agronomía.

Al **Ing. Henry Diaz Chuquizuta**, el quien fue Co-asesor de este trabajo, quien es un investigador de la Estación Experimental Agraria “El Porvenir”, aportando todos sus conocimientos y dando seguimiento a que esto se realizara de manera correcta.

Así mismo agradecer Proyecto de Inversión Suelos y Aguas, ya que sin ellos no hubiera sido posible realizar este trabajo, por su apoyo, su esmero y su gran amabilidad.

Índice general

| | |
|---|----|
| Ficha de identificación | 6 |
| Dedicatoria | 7 |
| Agradecimientos..... | 8 |
| Índice general..... | 9 |
| Índice de tablas | 11 |
| Índice de figuras | 12 |
| RESUMEN | 13 |
| ABSTRACT | 14 |
| CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN..... | 15 |
| CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO | 17 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación | 17 |
| 2.2. Fundamentos teóricos | 19 |
| 2.2.1. Aspectos generales del maíz (<i>Zea mays</i> L.) | 19 |
| 2.2.2. Bacterias promotoras del crecimiento | 24 |
| CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS..... | 25 |
| 3.1. Ámbito y condiciones de la investigación..... | 25 |
| 3.1.1. Ubicación política..... | 25 |
| 3.1.2. Ubicación geográfica..... | 25 |
| 3.1.3. Periodo de ejecución..... | 26 |
| 3.1.4. Autorizaciones y permisos | 26 |
| 3.1.5. Control ambiental y protocolos de bioseguridad..... | 26 |
| 3.1.6. Aplicación de principios éticos internacionales..... | 26 |
| 3.2. Sistema de variables | 26 |
| 3.2.1. Variables principales | 26 |
| 3.3. Procedimientos de la investigación..... | 27 |
| 3.3.1. Evaluar la eficiencia de los diferentes encalantes y biochar para rehabilitar suelos ácidos en la zona de Alto Amazonas – Yurimaguas..... | 27 |

| | |
|---|----|
| 3.3.2. Evaluar las características agromorfológicas del cultivo maíz amarillo duro al ser inoculado con <i>Bacillus subtilis</i> para acelerar la solubilización de encalantes y biochar con la finalidad de estimular su crecimiento vegetal | 29 |
| CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 33 |
| 4.1. Evaluación de la eficiencia de los diferentes encalantes y biochar para rehabilitar suelos ácidos en la zona de Alto Amazonas – Yurimaguas | 33 |
| 4.2. Evaluación de las características agromorfológicas del cultivo maíz amarillo duro al ser inoculado con <i>Bacillus subtilis</i> para acelerar la solubilización de encalantes y biochar con la finalidad de estimular su crecimiento vegetal | 36 |
| CONCLUSIONES | 47 |
| RECOMENDACIONES..... | 48 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 49 |
| ANEXOS | 54 |
| Anexo 01: Comportamiento del clima durante el desarrollo de la investigación..... | 54 |
| Anexo 02: Características físico y químico del suelo de la parcela experimental de maíz amarillo duro Marginal 28T sin aplicación de enmiendas..... | 54 |
| Anexo 03: Variables evaluadas | 55 |
| Anexo 04: Codificación y descripción de tratamientos con inoculante | 56 |
| Anexo 05: Diseño de campo con distribución de tratamientos en bloques | 57 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 <i>Contenido de las enmiendas</i> | 26 |
| Tabla 2 <i>Comparación de las propiedades químicas y físicas del suelo inicial y después de la aplicación de enmiendas con y sin B. subtilis</i> | 34 |
| Tabla 3 <i>Análisis de varianza de las enmiendas, la aplicación de B. subtilis y su interacción sobre las variables fenológicas, de crecimiento y rendimiento de la variedad de maíz amarillo duro Marginal 28T en un suelo ácido</i> | 37 |
| Tabla 4 <i>Características físico y químico del suelo de la parcela experimental de maíz amarillo duro Marginal 28T, en condiciones de secano, antes de la aplicación de enmiendas</i> | 54 |
| Tabla 5 <i>Variables evaluadas en el trabajo de investigación</i> | 55 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| <i>Figura 1</i> Imagen satelital del EEA San Ramon – INIA, Yurimaguas..... | 25 |
| <i>Figura 2</i> Efecto de las interacciones del uso de enmienda sin B. subtilis y con B. subtilis en días a la floración masculina (FM) y floración femenina (FF) | 39 |
| <i>Figura 3</i> Efecto de las interacciones uso de enmienda sin B. subtilis y con B. subtilis en la altura de planta (AP) y altura de la mazorca (AMz) | 40 |
| <i>Figura 4</i> Efecto de las interacciones del uso de enmienda sin B. subtilis y con B. subtilis en las variables diámetro de tallo (mm) y área foliar (cm ²)..... | 41 |
| <i>Figura 5</i> Efecto de las interacciones del uso de enmienda sin B. subtilis y con B. subtilis en la variable contenido de clorofila en hoja (CCL)..... | 42 |
| <i>Figura 6</i> Efecto de las interacciones del uso de enmienda sin B. subtilis y con B. subtilis en las variables rendimiento de forraje (RFV) y rendimiento de grano (RG) | 43 |
| <i>Figura 7</i> Efecto de las interacciones del uso de enmienda sin B. subtilis y con B. subtilis en la variable rendimiento de materia seca (RMS) | 44 |
| <i>Figura 8</i> Matriz de Correlación de Pearson entre características morfológicas, rendimiento y proteína en maíz amarillo variedad Marginal 28T, bajo enmiendas y aplicación de B. subtilis | 46 |
| <i>Figura 9</i> Comportamiento del clima durante el desarrollo de la investigación | 54 |
| <i>Figura 10</i> Codificación y descripción de los tratamientos con inoculación en el trabajo de investigación..... | 56 |
| <i>Figura 11</i> Diseño y distribución de los tratamientos en bloques en el experimento..... | 57 |

RESUMEN

Recuperación de suelos ácidos para maíz amarillo duro, mediante encalado, biochar y microorganismos promotores del crecimiento en Alto Amazonas

Este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar diferentes dosis de encalados y biochar potenciado por microorganismos promotores de crecimiento sobre la recuperación de suelos ácidos de selva para el cultivo de maíz amarillo duro en la provincia de Alto Amazonas. Para ello, se empleó un diseño (DBCA) con un arreglo factorial 4 enmiendas (óxido de calcio, carbonato de calcio, dolomita y biochar) más un testigo x 2 (con y sin aplicación de *B. subtilis*) en cuatro bloques. Como resultados se obtuvo que, la implementación de enmiendas, especialmente el biochar y el óxido de calcio, con *B. subtilis*, generó un efecto beneficioso considerable en el desarrollo y productividad del maíz amarillo duro Marginal 28T en terrenos ácidos. Se notaron incrementos significativos en la longitud de la planta y la mazorca, mediante la aplicación de biochar y *B. subtilis* ($p < 0,01$). Adicionalmente, el rendimiento del grano llegó a niveles altos ($4,11 \text{ t/ha}^{-1}$), lo que demuestra la sinergia entre ambos. Optimizó la sincronización de la floración, disminuyendo en 7 días la floración masculina y femenina en comparación con la observada. Se encontró una correlación significativa entre la floración masculina y femenina ($r = 0,99$), entre el diámetro del tallo y el rendimiento de grano ($r = 0,83$) y el área foliar ($r = 0,95$), lo que indica que un desarrollo vegetal más óptimo está vinculado a un rendimiento superior. Se observó una mejora en las características químicas del suelo, con un incremento en el pH y la presencia de nutrientes esenciales como el fósforo. En conclusión, la aplicación de biochar y *B. subtilis* potencia el desarrollo y productividad del maíz amarillo duro en terrenos ácidos, al mejorar las características químicas del suelo, incrementando la disponibilidad de fósforo, resultandos ventajosos para la agricultura sustentable en agroecosistemas tropicales.

Palabras clave: Suelo, rendimiento, maíz amarillo duro (MAD), grano, pH.

ABSTRACT

Restoration of acidic soils for hard yellow corn using liming, biochar, and growth-promoting microorganisms in the Upper Amazon

This study was carried out with the objective of evaluating different doses of liming and biochar enhanced by growth-promoting microorganisms on the recovery of acid rainforest soils for the cultivation of hard yellow corn in the province of Alto Amazonas. For this purpose, a design (RCBD) was used with a factorial arrangement of 4 amendments (calcium oxide, calcium carbonate, dolomite and biochar) plus a control x 2 (with and without application of *B. subtilis*) in four blocks. The results showed that the implementation of amendments, especially biochar and calcium oxide, with *B. subtilis*, generated a considerable beneficial effect on the development and productivity of Marginal 28T hard yellow corn in acid soils. Significant increases in plant and ear length were noted with the application of biochar and *B. subtilis* ($p < 0,01$). Additionally, grain yield reached high levels (4,11 t/ha-1), demonstrating the synergy between the two. It optimized flowering synchronization, decreasing male and female flowering by 7 days compared to that observed. A significant correlation was found between male and female flowering ($r = 0,99$), between stem diameter and grain yield ($r = 0,83$) and leaf area ($r = 0,95$), indicating that more optimal plant development is linked to higher yield. An improvement in soil chemical characteristics was observed, with an increase in pH and the presence of essential nutrients such as phosphorus. In conclusion, the application of biochar and *B. subtilis* enhances the development and productivity of hard yellow corn in acid soils by improving soil chemical characteristics and increasing phosphorus availability, which is advantageous for sustainable agriculture in tropical agroecosystems.

Keywords: Soil, yield, hard yellow corn (MAD), grain, pH.



CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

El cultivo del maíz amarillo duro (*Zea mays*) es crucial para garantizar la seguridad alimentaria y económica en Perú, asimismo, más de 200 000 hogares se sustentan a partir de su producción, abarcando una extensión de aproximadamente 400 000 hectáreas y logrando un volumen de producción anual que supera 1,2 millones de toneladas (Maguiña-Maza *et al.*, 2021; Chávez *et al.*, 2022).

Este cultivo, fundamental para el sustento de humanos y animales, se encuentra ante un peligro considerable en regiones tropicales, donde la acidez de los suelos impacta el desempeño de las cosechas y la presencia de nutrientes vitales, como el fósforo, magnesio y calcio, factores clave para el desarrollo sano del maíz (Leveau *et al.*, 2021; Barandiarán, 2020).

En Perú, cerca del 50 % de los terrenos agrícolas exhiben altos grados de acidez, impactando principalmente a áreas productoras como Yurimaguas. En estas zonas, los pequeños agricultores se encuentran restringidos en sus alternativas de gestión sostenible del suelo, lidiando con menores rendimientos y, consecuentemente, ingresos disminuidos (Cruz-Macías *et al.*, 2020). El proceso de acidificación de los terrenos en estas zonas es principalmente resultado de procesos naturales, como la lixiviación de nutrientes, pero también de técnicas agrícolas intensivas, como la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados en forma de amonio (NH_4^+) (Raza *et al.*, 2020).

La aplicación en calentes es uno de los métodos más eficaces para rectificar la acidez de los suelos. La aplicación correcta del encalado provoca transformaciones químicas significativas en el terreno, que favorece el desarrollo de las plantas (Chung, 2019). Ante estas restricciones, ha emergido la utilización de biochar y microorganismos que promueven el crecimiento vegetal (PGPM) como opciones con gran potencial. El biochar, producto de la pirólisis de biomasa (como la cascarilla de arroz), no solo mejora la retención de agua y la distribución de nutrientes a lo largo del perfil del suelo, sino que también fomenta un entorno propicio para el crecimiento de la microbiota del suelo y contribuye a la captura de carbono, reduciendo los impactos de la acidificación (Mondragón, 2021; Melo y Afanasjeva, 2022).

Asimismo, la inclusión de bacterias como *Bacillus subtilis*, un microorganismo impulsor del crecimiento vegetal (PGPM), funciona de manera sinérgica con el biochar y el encalado, puesto que potencia la solubilización de nutrientes y reduce la acidez del

suelo, potenciando el efecto de las enmiendas de encalado y favoreciendo un crecimiento radicular más sólido (Rodríguez-Hernández *et al.*, 2020; González-León *et al.*, 2022).

Considerando lo descrito, surgió la siguiente pregunta ¿Cuál es la efectividad del encalado, el biochar y los microorganismos promotores del crecimiento en la recuperación de suelos ácidos y el incremento de la productividad del maíz amarillo duro en la zona de Alto Amazonas? se considera que la investigación proporcionará datos significativos acerca de prácticas sustentables de gestión de suelos ácidos, y brindar a los agricultores opciones eficaces y reproducibles que aumenten su productividad de forma económica y ambientalmente sustentable en las zonas tropicales y subtropicales de nuestro país, debido a esto, se planteó como objetivo principal: Evaluar diferentes dosis de encalados y biochar potenciado por microorganismos promotores de crecimiento sobre la recuperación de suelos ácidos de selva para maíz amarillo duro en la provincia de Alto Amazonas, como objetivos específicos fueron: a) Evaluar la eficiencia de los diferentes encalantes y biochar para rehabilitar suelos ácidos en la zona de Alto Amazonas – Yurimaguas, b) Evaluar las características agromorfológicas del cultivo maíz amarillo duro al ser inoculado con *Bacillus subtilis* para acelerar la solubilización de encalantes y biochar con la finalidad de estimular su crecimiento vegetal.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Cervantes (2022), realizó investigaciones sobre el impacto del biochar de molle (*Schinus molle* L.) en la recuperación de suelos degradados utilizando el maíz (*Zea mays* L.) como indicador. Para lo cual, distribuyó en maceteros de 2 kg de suelo degradado con tres grupos operativos y cinco repeticiones, cada uno con dosis de 5 %, 15 % y 30 % de biochar; después de 15 días, se plantó maíz pre germinado y se evaluaron durante 60 días. En los resultados se obtuvieron que, para el tipo textural del suelo arcilloso inicial, que se mantuvo con biochar al 5 %, pasó a franco arcilloso con biochar al 15 % y franco arcilloso arenoso con biochar al 30 %. El pH ácido inicial de 4,28 se equilibró con biochar al 5 %, y la mayoría de las plantas pasaron a un pH demasiado alcalino con biochar al 15 y 30 %. La materia orgánica "(MO) disminuyó y se mantuvo con biochar al 5 %, y se elevó a medio para suelo agrícola con biochar al 15 y 30%. La capacidad de intercambio (CIC) inicial fue muy baja, con ligeros aumentos, pero aún muy baja para un suelo agrícola, pero el biochar al 15 % mejoró el desempeño del maíz (*Zea mays* L.). El autor concluyó mencionando que el biochar ayuda a los suelos degradados al proporcionar materia orgánica, estabilizar el pH y fomentar el crecimiento de las plantas.

Ubau *et al.* (2022), en su investigación, analizaron las propiedades de la cáscara de arroz y las condiciones de operación que afectaban la calidad y rendimiento de productos como bioaceite, biochar y su uso en concreto. Para ello, examinaron técnicas como gasificación y pirólisis, y destacaron la eficacia de catalizadores basados en níquel para mejorar la calidad del gas y la producción de hidrógeno. En los resultados observaron que, el uso de cenizas de cáscara de arroz como material cementante alternativo en la construcción, obtuvo una óptima sustitución del 15 - 20 %, mejorando así la resistencia a la compresión del concreto.

Ramirez (2023), efectuó una investigación sobre parámetros químicos para evaluar el impacto del biochar en los suelos agrícolas degradados de la provincia de La Mar - Ayacucho. Se aplicó en tres tratamientos diferentes (10, 30 y 50 %) con dos repeticiones en un período de treinta días en condiciones de invernadero. En los resultados los parámetros químicos mostraron variaciones significativas; por ello, el autor concluyó que los parámetros de pH, fósforo (P) y potasio (K) tuvieron un impacto significativo, mientras que la conductividad eléctrica, la materia orgánica, nitrógeno (N) y la capacidad de intercambio catiónico no mostraron variaciones significativas.

Santisteban y Huamán (2020), en su trabajo de investigación, analizaron el uso del biochar para mejorar la calidad de suelos agrícolas contaminados por el uso excesivo de fertilizantes químicos o con baja fertilidad. Por lo cual, utilizaron un diseño cualitativo narrativo tópico y una revisión sistemática. En los resultados, obtuvieron que el biochar producido entre 200 °C y 700 °C, especialmente el derivado de excretas de animales en dosis del 3 % al 10 %, fue el más efectivo; asimismo, este biochar mejoró las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y ayudó a mitigar impactos ambientales negativos, como la reducción de gases de efecto invernadero, el uso excesivo de fertilizantes químicos, olores y amoníaco.

Ribeiro *et al.* (2022), efectuaron investigaciones sobre "la inoculación conjunta de cepas tropicales de *Azospirillum* y *Bacillus*, para que conozcan si es que es más eficaz que la inoculación individual para así mejorar el crecimiento de las plantas y la absorción de nutrientes en el maíz". Para ello, desarrollaron un inóculo multi específico que incluía varias cepas bacterianas para optimizar el crecimiento del maíz en diferentes condiciones. En los resultados observaron que, todas las cepas probadas producían ácido indolacético y solubilizaban fosfatos; en condiciones hidropónicas, la combinación de ciertas cepas favoreció a un mayor desarrollo de las raíces. Además, en el suelo, la inoculación con dos cepas de *Azospirillum* mejoró el crecimiento del maíz, evidenciado por un aumento en el peso seco, el contenido de nutrientes y la actividad enzimática.

González-León *et al.* (2022) en sus investigaciones sobre "*Bacillus subtilis* y *Trichoderma*", con el apoyo de revisión bibliográfica, encontraron que las características y propiedades de estos microorganismos, teniendo en cuenta que su función es amigable para los agroecosistemas, fomentaron la soberanía alimentaria sin depender de productos químicos. Asimismo, encontraron que las plantas obtienen beneficios de *Bacillus subtilis* como fijación biológica del nitrógeno, solubilización de fosfatos, producción de fitohormonas, control biológico de enfermedades, producción de antimicrobianos y sideróforos, entre otras cosas. Por su parte, *trichoderma*, promueven el crecimiento de las plantas, solubilizan los fosfatos, inhiben los fitopatógenos, producen sideróforos, reducen la resistencia sistémica, etc.

Wang *et al.* (2022), realizaron investigaciones, donde aislaron e introdujeron bacterias beneficiosas, *Bacillus subtilis* (BS) y *Pseudomonas fluorescens* (PF), en suelos esterilizados, reconocidos por sus efectos positivos en la calidad del suelo. En los resultados, observaron incrementos significativos en los niveles de nitrógeno y amonio en el suelo tratado con estas bacterias, debido a la mejora en la actividad de la ureasa del suelo. Asimismo, constataron que los tratamientos con BS y PF aumentaron esta

actividad en aproximadamente un 90 % y un 70 %, respectivamente. Asimismo, se desarrolló una relación notable entre la actividad de la ureasa y el carbono de la biomasa microbiana. Estos resultados indicaron que el incremento en las actividades enzimáticas del suelo, impulsadas por el crecimiento bacteriano, pueden beneficiar la fertilidad del suelo, lo que sugieren que la aplicación de bacterias beneficiosas para el suelo sea una estrategia prometedora para mejorar el suelo y restaurar los nutrientes.

Fasabi (2023), en Colpa Baja – Huánuco, tras identificar la contaminación del suelo en un pre-test, evaluaron distintas dosis de biochar de origen orgánico (cascarilla de arroz). En los resultados, la dosis del 20 % mostró ser más efectiva en la muestra 1, mientras que la dosis del 25 % fue más efectiva en la muestra 2. Ambas dosis mejoraron significativamente los parámetros físico-químicos del suelo. El autor concluyó mencionando que el tratamiento con biochar del 25 % fue el más efectivo para la mejora del suelo contaminado, y por ello, recomendó su uso para la estabilización de suelos contaminados, así como para la exploración de diferentes dosis para obtener mejores resultados.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Aspectos generales del maíz (*Zea mays* L.)

❖ Origen y expansión del maíz

Podemos decir que es una planta originaria del continente americano, cultivada por los antiguos habitantes logrando una destacada adaptación evolutiva, especialmente por las regiones de México y Perú. Es uno de los principales cereales consumidos en todo el mundo, se cultiva hace más de 8000 años, y se encuentra distribuida por todas partes del mundo ya que presenta una gran adaptabilidad, es decir que puede adaptarse a una gran variedad de ecosistemas, que van desde el ecuador terrestre hasta los 55 grados latitud norte y 40 grados latitud sur, desde nivel del mar hasta los 3 800 msnm, desde temperaturas de 2 °C hasta los 40 °C (INIA, 2020).

La variedad de maíz marginal 28 tropical, es una combinación resultante de un cruzamiento inter e intra poblacional de los cultivares ACROSS 7728, FERKE 7928, LA MAQUINA 7928 que provienen del CIMMYT, que ha sido mejorada y adaptada por el INIA a condiciones tropicales de selva y costa del norte del Perú y su rango va hasta los 1800 msnm (INIA, 2016).

❖ Importancia del maíz

A nivel mundial, los cereales son una de las categorías de alimentos más importantes. De los 8 cereales más consumidos por el ser humano, el maíz, el trigo y el arroz representan el 90 % del consumo total en el mundo, aportando más del 50 % de las calorías ingeridas a nivel global. No obstante, en cuanto a las preferencias por estos cereales oscilan entre las distintas regiones continentales. Por ejemplo, el maíz es más apreciado en países de la costa este, el sur de África, México y Centroamérica. Aunque es importante destacar que el maíz se destina principalmente como insumo para la alimentación del ganado en lugar de ser destinado directamente para el consumo humano (INIA, 2020).

El maíz es uno de los cereales más importantes del mundo no solo por ser un alimento para el consumo humano y animal, sino también porque contribuye con la materia prima de diversos productos industriales (Martínez, 2021).

Se destaca por ser uno de los cultivos con mayor diversidad entre las especies vegetales. Es por eso que no solo se está usando para consumo humano y animal, sino también para la producción de biocombustible, plásticos biodegradables, jarabes azucarados, entre muchos más. Es el cereal más relevante según las estadísticas oficiales, para el 2017 la producción de maíz fue la más alta a diferencia de los otros cereales, ya que alcanzo una producción mundial de 1 393 981,150 toneladas superando al arroz y trigo (Gómez Pérez, 2019).

❖ **Clasificación taxonómica del maíz**

Reino: Plantae

Filo: Tracheophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Poace

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays* L.

Fuente: Species (2000).

❖ **Características generales del cultivo de maíz**

Es una planta monocotiledónea y monoica, es decir que tiene flores estaminales funcionales ubicadas en la panoja, que está ubicada en la parte terminal del tallo y

también flores pistiladas que se encuentran entre la quinta y sexta hoja contadas desde la panoja. El tallo está formado por nudos y entrenudos, y hojas arregladas en forma alterna que salen desde las yemas que se ubican en los nudos (INIA, 2020).

La planta de maíz llega a medir de 2,70 a 2,90 metros en promedio, aunque algunas variedades con condiciones y en lugares muy específicos pueden llegar a medir hasta 3 metros (Rodríguez y Rodríguez, 2024).

❖ Órganos vegetativos

Raíz: Las raíces pueden ser de dos tipos: principales (nodales o coronarias) que son las más profundas y que nacen desde la semilla durante la germinación, y las raíces adventicias o de anclaje, las cuales se forman en los primeros entre nudos del tallo adoptando una forma de cono (INIA, 2020).

Tallo: cuenta con un tallo robusto formado por nudos y entrenudos que varían de 20 a 30 según la variedad, de una forma cilíndrica y hueco. El alargamiento del tallo depende de las células de los entrenudos, que en ciertas condiciones ambientales como sequías se limitaría el alargamiento y reduciendo el tamaño de la planta (INIA, 2020).

Hojas: son alargadas, lanceoladas, alternas, paralelinervaria, que se encuentran abrazadas al tallo y en el haz cuentan con vellosidades. Las hojas van de 4 a 10 cm de ancho y de 35 a 50 cm de longitud, el número de hojas varía de acuerdo a la variedad y al número de nudos del tallo (INIA, 2020).

❖ Órganos reproductivos

Flor masculina, panoja o panícula: es una espiga que se ubica en el ápice o parte terminal del tallo y este compuesto por un eje central (raquis) y ramificaciones primarias y secundarias. Tanto el eje como las ramificaciones donde las espiguillas se distribuyen en pares. Las espiguillas están protegidas por brácteas o glumas que al mismo tiempo contiene tres estambres donde se desarrollan los granos de polen (INIA, 2020).

Floración Femenina: la inflorescencia femenina es una estructura llamada mazorca. Solo algunas yemas que se encuentran en las axilas de las hojas nacen la inflorescencia femenina o espiga, más conocida como mazorca que incluye la coronta o eje central y donde se insertarán las flores que darán forma a los granos (Cabrera, 2023).

Frutos y semillas: el grano de maíz es una cariósida. La pared pericarpio u ovario esta fundida con la testa o cubierta de la semilla, así ambas conforman la pared del fruto. El fruto maduro está constituido en tres partes principales: la pared, el embrión

diploide y el endospermo triploide. la parte más externa del endospermo en contacto con la pared del fruto es denominada la capa de aleurona (Cabrera, 2023).

❖ Estado de desarrollo de la planta

Para describir el estado de desarrollo del cultivo de maíz, es dividida en dos grandes estados fenológicos: el vegetativo (V) y reproductivo (R). el primer estado empieza desde la emergencia de la plántula (VE) luego los otros estados se comprenden de acuerdo al número de hojas que tenga la plana. Así, con la aparición de la primera hoja es el estado V1, con la segunda hoja es el estado V2, etc. Pero con la aparición de la panoja es considerado como estado VT. Los estados reproductivos se comprenden desde la R1, desde que se inicia la aparición de los estigmas hasta la R6 que es la maduración fisiológica (INIA, 2020).

❖ Fase vegetativa

Conocer las fases fenológicas de la planta de maíz facilita la aplicación oportuna de las prácticas agrícolas del cultivo como el deshierbo, aporque, fertilización, etc. Permitiendo lograr mayor productividad (INIA, 2020).

Emergencia: se comprende desde la siembra hasta la emergencia de la planta, donde la semilla empieza a absorber agua y desarrolla. Finaliza cuando el ápice del coleóptilo emerge del suelo, momento en el que las primeras hojas empiezan a emerger. De acuerdo a la profundidad de la siembra el punto de crecimiento de la planta y los nudos del tallo están de 3 a 5 cm por debajo del suelo. En condiciones óptimas de humedad, la germinación de la semilla y emergencia de la plántula puede tardar de 10 a 15 días en precoces y entre 15 a 20 días en los semitardíos y tardíos (INIA, 2020).

Aparición de las hojas: aparecen después de la emergencia las primeras dos hojas extendidas. Las raíces primarias empiezan a crecer, además se inicia a formar la espiga (panoja) en el ápice del tallo debajo del suelo, también la formación de hojas y yemas florales. Cando la hoja llega a las ocho hojas extendidas, el tallo y la espiga empiezan a crecer rápidamente y el punto de crecimiento se encuentra de 7 y 10 cm sobre el suelo. Además, que en esta etapa es en que la panta de maíz se vuelve mucho más susceptible al ataque de larvas de cogollero (*Spodoptera frugiperda*) (INIA, 2020).

Panoja: en esta etapa cuenta con 12 hojas extendidas completamente desarrolladas, la planta empieza un crecimiento rápido del tallo y aparece la panoja o inflorescencia masculina. Las raíces de sostén empiezan a crecer y salen desde el primer entrenudo sobre el suelo, y la mazorca superior empieza a desarrollarse. La planta al estar con 16 hojas extendidas, empieza a formarse el ápice de la espiga. Los entrenudos superiores

del tallo comienzan a alargarse rápidamente y las mazorcas superiores aumentan en tamaño y longitud. En etapa la ausencia de humedad y nutrientes tiene mucha más incidencia, siendo más notable desde la parte superior hacia la base de la planta, por consecuencia retardando la aparición de los estigmas y emisión del polen (INIA, 2020).

❖ Fase reproductiva

Floración masculina: alargamiento de los entrenudos del tallo, pedúnculo y la panca de la mazorca, completando el crecimiento de la planta. La dehiscencia y dispersión de los granos de polen, ocurre entre los 2 a 3 días antes de la emisión de los estigmas y la dispersión del polen llega a durar 14 días, pero pueden ser afectadas por altas temperaturas y sequías (INIA, 2020).

Floración femenina: desde los 8 o 10 días desde la aparición de la panoja, las mazorcas emiten sus pistilos completamente. Se produce la polinización de los estigmas y las pancas alcanzan su tamaño máximo, pero con la falta de humedad puede llegar a afectar la polinización y producir un desarrollo pobre de granos. En esta etapa es muy común ver el ataque del gusano mazorquero, las mariposas (*Helicoverpa zea*) ponen sus huevos en el pistilo de la mazorca y al eclosionar se introducen dentro de la mazorca causando daños irreparables (INIA, 2020).

Grano en estado lechoso: se da inicio el proceso de acumulación de almidón en el endospermo y generando un aumento rápido en el peso del grano. La tusa, panca y pedúnculos se han desarrollado totalmente, se da la diferenciación del coleóptilo, la radícula y las hojas rudimentarias. Siendo importante la aplicación de riego para tener una humedad adecuada para la producción (INIA, 2020).

Grano en estado pastoso: el grano comienza a acumular sustancias orgánicas y minerales. Las estructuras embrionarias se encuentran totalmente diferenciadas y el almidón sigue almacenándose en el endospermo, este periodo está exclusivamente destinado a incrementar el peso del grano. La falta de nutrientes o condiciones desfavorables, ocasionaría producción de granos vacíos y mazorcas de poco peso (INIA, 2020).

Granos en madures fisiológica: es evidente la paralización de materia seca en los granos y el vigor máximo de la semilla. En campo esta fase se reconoce por la formación una capa negra en el punto de inserción del grano con la coronta, además coincide que las hojas un proceso de senescencia natural y lo cual comienza a perder el color verde característico (INIA, 2020).

2.2.2. Bacterias promotoras del crecimiento

Son un grupo de microorganismos que se caracterizan por incrementar el crecimiento y producción vegetal, los géneros más conocidos y utilizados en la agricultura son: *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, etc (Callero, 2011).

Pueden afectar a la planta directa o indirectamente:

a. Efectos directos

- ✓ Fijación del nitrógeno atmosférico.
- ✓ Solubilización de minerales.
- ✓ Síntesis de fitohormonas (auxinas, citocinas y giberelinas).
- ✓ Síntesis de la enzima AAC Deaminasa.

b. Efectos indirectos

- ✓ Biocontrol de fitopatógenos.
- ✓ Producción de antibióticos.
- ✓ Reducción de hierro (Fe^{+3}).
- ✓ Resistencia inducida.

Actúan como fitoestimulantes, cuentan con la habilidad de producir o cambiar la concentración de los reguladores de crecimiento como el ácido indolacético, ácido giberélico, citocinas y etileno.

❖ *Bacillus subtilis*

Es una bacteria cosmopolita presente en muchos hábitats y además resulta ser un excelente controlador biológico de enfermedades causadas por hongos del suelo y otras bacterias. Puede ser aplicada foliar o radicular, tiene la particularidad de crear endosporas altamente resistentes a las altas temperaturas y cambios osmóticos pudiendo sobrevivir en suelos inhóspitos y condiciones altamente estresantes (Callero, 2011).

Por su actividad antifúngica se ha vuelto una de las bacterias más estudiadas a nivel mundial debido a la síntesis de metabolitos pépticos de acción antibiótica. Tiene una alta capacidad para colonizar la zona de la rizosfera, tiene una rápida asimilación de los nutrientes y la secreción de enzimas digestoras que degradan y matan por contactos a hongos y otras bacterias los cuales sirven como alimento (Callero, 2011).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. **Ámbito y condiciones de la investigación**

3.1.1. **Ubicación política**

Ubicación donde se recolecto datos para la investigación

El trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones de experimentación del INIA, específicamente en la Estación Experimental Agraria San Ramón.

a). Ubicación Política:

| | | |
|--------------|---|---------------|
| Distrito | : | Yurimaguas |
| Provincia | : | Alto Amazonas |
| Departamento | : | Loreto |

b). Ubicación geográfica:

| | | |
|----------|---|---------------|
| Cuenca | : | Bajo Huallaga |
| Longitud | : | 76° 07' 12". |
| Latitud | : | 05° 56' 09". |
| Altitud | : | 143 m.s.n.m. |

3.1.2. **Ubicación geográfica**



Figura 1

Imagen satelital del EEA San Ramon – INIA, Yurimaguas

3.1.3. Periodo de ejecución

El trabajo de investigación se efectuó desde marzo hasta septiembre del 2024.

3.1.4. Autorizaciones y permisos

Para este trabajo de investigación no se realizó ninguna autorización porque no afectó el medio ambiente por ningún motivo.

3.1.5. Control ambiental y protocolos de bioseguridad

Esta investigación no tuvo ningún impacto negativo en el medio ambiente.

3.1.6. Aplicación de principios éticos internacionales

La investigación efectuada siguió los principios absolutos de la ética de la investigación, entre los que cabe destacar: integridad, respeto a las personas, los ecosistemas y la justicia.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Variables principales

a) Variable independiente

- Uso de encalantes y biochar como soluciones para rehabilitar suelos ácidos.

Tabla 1

Contenido de las enmiendas

| Producto | Contenido |
|--------------------------------|--|
| Oxido de calcio (Agrocal Mix) | Ca(OH) ₂ : 35 – 40 % |
| | CaCO ₃ : 1 – 5 % |
| | MgO: 11 – 15 % |
| | CaSO ₄ : 30 – 35 % |
| | SiO ₂ : 10 – 15 % |
| Dolomita | CaO: 29 % |
| | MgO: 18 % |
| Carbonato de calcio (Magnecal) | CaCO ₃ : 77 % |
| | MgCO ₃ : 19 % |
| | pH: 6.5 |
| | Conductividad eléctrica: 34.6 mS m ⁻¹ |
| Biochar de cascarilla de arroz | Materia orgánica: 46 g kg ⁻¹ |
| | Nitrógeno total: 0.38 g kg ⁻¹ |
| | Fósforo: 500 mg·kg ⁻¹ |
| | Potasio: 300 mg·kg ⁻¹ |
| | Calcio: 3600 mg·kg ⁻¹ |
| | Magnesio: 700 mg·kg ⁻¹ |

- Inoculación del maíz amarillo duro con *Bacillus subtilis*

b) Variable dependiente

- pH del suelo.
- Concentración de nutrientes en el suelo.
- Capacidad de intercambio catiónico específico (CIC).
- Altura de la planta.
- Diámetro de tallo.
- Área foliar.
- Días de floración masculina.
- Clorofila.
- Biomasa (peso seco total y área foliar).
- Análisis proximal de alimentos.

3.3. Procedimientos de la investigación

Por su naturaleza la investigación fue de tipo experimental y de nivel aplicada, donde se basó en ejecutar en campo los objetivos planteados dentro del informe utilizando multiplex ayudas en su proceso de ejecución.

3.3.1. Evaluar la eficiencia de los diferentes encalantes y biochar para rehabilitar suelos ácidos en la zona de Alto Amazonas – Yurimaguas

Para cumplir con este objetivo se tuvo que realizar las siguientes actividades:

➤ Muestro de suelo antes de la preparación de terreno

Para el comienzo de la investigación, se realizó un muestreo detallado para la determinación del estado del suelo, considerando aspectos como su pH, textura y la disponibilidad de nutrientes, entre otros factores clave. Con este propósito, se llevó a cabo un muestreo en el área de investigación, el cual tuvo una superficie de 1140 m².

Se obtuvieron 6 submuestras tomadas de manera estratégica, que luego se mezclaron y homogenizaron para formar un kilogramo de suelo representativo. Esta muestra fue codificada y enviada al laboratorio especializado en análisis de suelos, aguas y foliares de la estación experimental El Porvenir – INIA, donde se realizó un análisis físico-químico completo. Este estudio permitió obtener información precisa sobre las propiedades del suelo, ayudando a tomar decisiones informadas para mejorar su fertilidad y optimizar su manejo agronómico.

❖ Aplicación de los encalantes

La aplicación de encalantes consistió en corregir la acidez del suelo a través de la incorporación de compuestos de calcio y magnesio, como carbonatos u óxidos. Antes de proceder, se midió el pH del suelo para calcular la cantidad adecuada de encalantes.

Luego, se seleccionó el tipo de material más apropiado y se distribuyó uniformemente sobre el terreno, asegurando una mezcla adecuada para lograr una dispersión uniforme.

Se monitoreó constantemente el pH del suelo y, si era necesario, se ajustaron las dosis de encalantes para obtener los resultados esperados. Este proceso permitió mejorar las condiciones del suelo, promoviendo un entorno óptimo para el crecimiento de los cultivos y la absorción de nutrientes.

❖ **Fertilización aplicación de biochar**

La aplicación de biochar consistió en añadir al suelo un tipo de carbón vegetal que se obtuvo a partir del tratamiento de materia orgánica a través del proceso de pirólisis. Tras seleccionar el biochar más adecuado para el tipo de suelo, se preparó el terreno y se esparció uniformemente.

Luego, se mezcló con el suelo para garantizar una correcta incorporación. A lo largo del tiempo, se observaron los efectos del biochar, evaluando su impacto en aspectos como la fertilidad, la retención de nutrientes y la capacidad de retener agua, realizando los ajustes necesarios según los resultados obtenidos. El fin de este proceso mejoró tanto la calidad del suelo como su capacidad para conservar nutrientes y agua, contribuyendo al desarrollo saludable de los cultivos y favoreciendo prácticas agrícolas más sostenibles a largo plazo.

❖ **Muestreo de suelo post cosecha**

Se efectuó un segundo muestreo de suelo en el área de 300 m² de la investigación, utilizando el mismo procedimiento empleado anteriormente. Se tomaron 5 submuestras estratégicamente distribuidas, las cuales fueron mezcladas y homogeneizadas para obtener un kilogramo de suelo representativo. Esta muestra fue identificada y enviada al laboratorio de suelos, aguas y foliares de la estación experimental El Porvenir – INIA, donde se llevó a cabo un análisis físico-químico detallado.

El objetivo de este análisis fue determinar si el suelo mejoró en términos de su estructura, pH, disponibilidad de nutrientes y capacidad de retención de agua, comparándolo con los datos obtenidos en el primer muestreo. De esta manera, se pudo evaluar la efectividad de las aplicadas y se tomó decisiones si se requerían nuevos ajustes para mejorar la calidad de las acciones del suelo y su manejo a largo plazo.

➤ **Tipo y nivel de la investigación**

Tipo de investigación: Fue de tipo **aplicada** con objetivo resolver problemas prácticos y desarrollar soluciones utilizables en la práctica.

Nivel de investigación: Fue de nivel experimental porque permite establecer relaciones de causalidad mediante la manipulación de variables independientes y la observación de sus efectos en variables dependientes.

➤ **Diseño de la investigación**

Se usó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con un arreglo factorial de 4 enmiendas.

- Diseño: Bloques completamente al azar.
- Tratamientos: 10.
- Repeticiones: 3.
- Número de parcelas evaluadas: 30.

3.3.2. Evaluar las características agromorfológicas del cultivo maíz amarillo duro al ser inoculado con *Bacillus subtilis* para acelerar la solubilización de encalantes y biochar con la finalidad de estimular su crecimiento vegetal

Para desarrollar este objetivo se efectuaron ciertas actividades, que se describen a continuación.

❖ **Inoculación de *Bacillus subtilis***

La inoculación de microorganismos se llevó a cabo en la base del tallo una semana después de la primera fertilización, y se programó una segunda inoculación un mes después de la primera.

Este enfoque tuvo el potencial de impactar de manera significativa la salud del suelo, ya que la introducción de microorganismos beneficiosos pudo fomentar una mayor actividad biológica en el terreno. Además, se presagió que este proceso incrementó la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, mejorando su absorción y utilización.

❖ **Evaluación de la medición de la altura de la planta de maíz**

La medición de la altura del maíz es un procedimiento comúnmente utilizado en investigaciones agrícolas para evaluar el desarrollo de las plantas de maíz a lo largo de su ciclo de crecimiento.

Este proceso implicó determinar la distancia vertical desde la base de la planta hasta la parte superior, donde se encontraba el punto más alto de la planta. Para garantizar la precisión de las mediciones, se emplearon instrumentos adecuados como reglas graduadas o dispositivos de medición diseñados específicamente.

La altura del maíz pudo variar según diversos factores como la variedad de maíz, las condiciones del suelo, el clima y las prácticas de manejo agronómico. Por lo tanto, fue fundamental realizar mediciones periódicas durante el ciclo de crecimiento para monitorear el progreso de las plantas y ajustar las estrategias de manejo si fuera necesario.

❖ **Evaluación del diámetro de tallo de planta de maíz**

La medición del diámetro del tallo en el maíz fue esencial para evaluar su vigor y estabilidad. Este proceso se realizó en las etapas avanzadas de desarrollo, utilizando una cinta métrica para medir el diámetro entre el primer y el segundo nudo.

Los tallos más gruesos indicaron una mayor resistencia al acame y una mejor capacidad para transportar agua y nutrientes, lo que contribuyó a un rendimiento superior del cultivo.

La realización de evaluaciones periódicas permitió ajustar las prácticas de manejo y optimizar el crecimiento de las plantas. Además, el monitoreo del diámetro del tallo proporcionó información valiosa sobre la salud general de las plantas y ayudó a identificar cualquier problema potencial en su desarrollo, facilitando así la implementación de estrategias efectivas para su máximo desarrollo.

❖ **Evaluación de área foliar de la planta de maíz**

La medición del área foliar en el maíz fue fundamental para analizar su capacidad fotosintética y prever su rendimiento futuro. Este proceso se llevó a cabo en las etapas avanzadas de crecimiento, empleando tanto métodos destructivos, como el corte de hojas para su evaluación, como métodos no destructivos que incluyeron mediciones directas.

Una mayor área foliar indicó una mayor eficiencia fotosintética, un uso más eficiente de los recursos y una mayor producción de biomasa, lo que contribuyó a un mayor rendimiento del cultivo.

Realizar evaluaciones periódicas permitirá a los agricultores ajustar factores clave como el riego y la fertilización, optimizando el manejo del cultivo para maximizar su producción. Esta información será también esencial para desarrollar estrategias de

manejo agronómico que promuevan un crecimiento saludable y productivo de las plantas.

❖ **Evaluación de clorofila por centímetro cuadrado**

La medición de la clorofila en el maíz fue esencial para evaluar la salud y la eficiencia fotosintética de la planta, ya que estuvo estrechamente relacionada con los niveles de nutrientes, especialmente nitrógeno. Este proceso se pudo realizar mediante métodos no destructivos, como dispositivos portátiles SPAD o imágenes multiespectrales, así como a través de métodos destructivos, como análisis de laboratorio.

Un aumento en el nivel de clorofila indicó un mejor estado nutricional y una mayor capacidad para realizar la fotosíntesis. Los datos obtenidos de estas mediciones permitirán a los agricultores ajustar la fertilización de manera más precisa, optimizando así el rendimiento del cultivo. Además, esta información será valiosa para un seguimiento continuo del desarrollo de las plantas, lo que permitirá implementar estrategias más efectivas para mejorar la producción agrícola y garantizar la salud del maíz a lo largo de su ciclo de crecimiento.

❖ **Evaluación de días de floración masculina**

La evaluación de la floración masculina se llevó a cabo 50 y 60 días después de la siembra. Este proceso consistió en observar visualmente las espigas de polen y contar las plantas que comenzaban a florecer.

La floración masculina fue un factor esencial para la polinización, ya que el polen necesitaba ser transportado a las flores femeninas para que ocurra la fecundación. La coincidencia entre la floración masculina y femenina fue crucial para maximizar el rendimiento del cultivo.

Monitorear esta etapa permitirá a los agricultores ajustar sus prácticas de manejo y abordar cualquier inconveniente que pueda afectar el desarrollo de las mazorcas. Además, este seguimiento proporcionará información valiosa sobre el estado de las plantas, facilitando la toma de decisiones para optimizar las condiciones de crecimiento y garantizar una producción exitosa.

❖ **Evaluación de biomasa en el cultivo de maíz**

La medición de la biomasa en el maíz desempeñó un papel fundamental para evaluar la producción de materia vegetal durante el ciclo de crecimiento de las plantas de maíz. Este proceso consistió en recolectar y pesar todas las partes de la planta, tales como tallos, hojas y mazorcas, con el fin de determinar la cantidad total de biomasa generada.

Para obtener mediciones precisas, se recolectaron muestras de plantas en distintos momentos del ciclo de crecimiento y en diversas áreas del campo. Posteriormente, estas muestras se secaron y pesaron en una balanza de precisión para calcular la biomasa seca.

La medición de la biomasa en el maíz proporcionó información relevante sobre el rendimiento de los cultivos, la eficiencia en el uso de recursos y la respuesta de las plantas a diversas condiciones ambientales y prácticas agronómicas.

❖ **Análisis proximal de alimentos**

El análisis proximal de alimentos en la biomasa de maíz se realizó para determinar su composición nutricional, examinando componentes esenciales como materia seca, proteínas, grasas, fibra, cenizas y carbohidratos.

Este análisis fue crucial para evaluar el valor nutritivo de la biomasa, lo que permitió ajustar las prácticas agrícolas y apoyar la investigación sobre diferentes variedades de maíz.

Los resultados obtenidos serán importantes para evaluar la calidad del maíz como alimento, tanto para humanos como para animales, mejorando así su uso en la nutrición. Además, esta información ayudará a desarrollar estrategias más efectivas para optimizar la utilización del maíz en la alimentación y contribuirá a la sostenibilidad de la producción agrícola, asegurando que las variedades cultivadas sean nutricionalmente adecuadas y eficaces.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación de la eficiencia de los diferentes encalantes y biochar para rehabilitar suelos ácidos en la zona de Alto Amazonas – Yurimaguas

❖ Propiedades químicas y físicas del suelo antes y después de la aplicación de enmiendas con y sin *B. subtilis*

En la tabla 2 muestra la comparación entre el suelo inicial (M0) y los resultados logrados después de aplicar enmiendas, con y sin *B. subtilis* (CB y SB), lo que muestra cambios notables en las características químicas del terreno. En cuanto al pH, se nota una tendencia predominante hacia el incremento en los tratamientos, particularmente cuando se emplearon enmiendas como biochar, carbonato cálcico y dolomita enriquecida con *B. subtilis*. Para el carbonato de calcio que contiene *B. subtilis*, el pH se incrementó en 0,50 unidades, en contraste con el caso del carbonato de calcio sin *B. subtilis* que su incrementó fue más bajo. Esto destaca la función de *B. subtilis* en la disminución de la acidez de los suelos.

Respecto a la conductividad eléctrica (CE), no se detectaron cambios marcadamente distintos entre los diferentes tratamientos. En relación con la materia orgánica (MO), todos los tratamientos evidenciaron una leve disminución respecto al valor inicial. A pesar de que estas reducciones fueron menores, indican una acelerada mineralización, algo habitual en entornos tropicales y que podría impactar la fertilidad a largo plazo si no se compensa de manera apropiada.

Uno de los efectos más sobresalientes de las técnicas de intervención es el incremento significativo en la disponibilidad de fósforo. Los suelos tratados con biochar, tanto con y sin *B. subtilis*, exhiben aumentos significativamente mayores, pasando de valores bajos a medios. En contraposición, otros tratamientos también presentan mejoras positivas en comparación con los resultados de la muestra de suelo inicial, lo que demuestra la importancia vital de las modificaciones con y sin *B. subtilis* en la solubilización de fósforo en terrenos ácidos.

Respecto al potasio disponible, a pesar de que los resultados alcanzados en todos los tratamientos se mantienen bajos, se observa un aumento en los mg/kg¹ de este componente, lo que indica una sinergia entre las modificaciones y el microorganismo para incrementar la disponibilidad de este nutriente.

Finalmente, los cationes intercambiables, tales como el calcio y el magnesio, también exhibieron aumentos significativos en los suelos que fueron tratados con *B. subtilis*. Específicamente, el calcio demostró un incremento significativo en los tratamientos con carbonato de calcio con *B. subtilis*, lo que resalta la eficacia de este método para potenciar la capacidad de intercambio catiónico (CIC). También se observaron mejoras en los suelos tratados con magnesio, aunque de forma menos notable mediante la biochar con *B. subtilis*.

Como resultados, la implementación de modificaciones en conjunto con *B. subtilis* no solo incrementa el pH del terreno y la presencia de nutrientes esenciales como el fósforo y el potasio, sino que también promueve la retención de materia orgánica y contribuye a potenciar la capacidad de intercambio catiónico. Estos efectos conjuntos indican que la incorporación de *B. subtilis* podría ser una táctica eficaz para la rehabilitación de suelos ácidos y potenciar su productividad en la agricultura.

Todos los métodos con enmiendas consiguieron disminuir este valor a $< 0,10 \text{ C mol}(+)/\text{kg}^{-1}$, lo que prácticamente eliminó el aluminio tóxico de la parcela. Esta reducción de al menos $0,26 \text{ C mol}(+)/\text{kg}^{-1}$ es vital para el desarrollo de las raíces, dado que altos niveles de aluminio resultan extremadamente dañinos para los cultivos en suelos ácidos.

Se notaron variaciones significativas en los tratamientos; por ejemplo, el biochar sin *B. subtilis* (B-SB) evidenció un aumento en la acidez intercambiable de $0,60 \text{ C mol}(+)/\text{kg}^{-1}$, en comparación con el suelo inicial (M0), lo que señala que este tratamiento no logró neutralizar la acidez. Por último, la aplicación de carbonato de calcio con *B. subtilis* (CC-CB) disminuyó la acidez en un $0,30 \text{ C mol}(+)/\text{kg}^{-1}$, en comparación con su valor inicial del suelo, mejorando significativamente la calidad del suelo para el cultivo del maíz.

Tabla 2

Comparación de las propiedades químicas y físicas del suelo inicial y después de la aplicación de enmiendas con y sin B. subtilis

| Parámetro | Unidad | M0 | SE-CB | SE-SB | B-CB | B-SB | OC-CB | OC-SB | CC-CB | CC-SB | D-CB | D-SB |
|--------------|---------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| pH | unid. H | 4,5 0↑ | 4,7 0↑ | 4,4 0↑ | 4,90 ↑ | 4,20 ↑ | 4,30 ↑ | 4,1 0↑ | 5,00 ↑ | 4,60 ↑ | 4,6 0↑ | 4,0 0↑ |
| C.E | mS·m ⁻¹ | 8,0 0* | 7,9 0* | 8,5 0* | 6,90 * | 7,30 * | 2,50 * | 10, 00* | 4,80 * | 4,90 * | 6,7 0* | 6,1 0* |
| M.O | % | 2,4 0↔ | 1,9 0↓ | 1,6 0↓ | 1,10 ↓ | 1,70 ↓ | 1,80 ↓ | 1,6 0↓ | 1,70 ↓ | 1,70 ↓ | 1,7 0↓ | 1,8 0↓ |
| N | % | 0,0 9↓ | 0,1 0↔ | 0,0 8↓ | 0,06 ↓ | 0,09 ↓ | 0,09 ↓ | 0,0 8↓ | 0,09 ↓ | 0,09 ↓ | 0,0 9↓ | 0,0 9↓ |
| P Disponible | mg·kg ⁻¹ | 2,1 0↓ | 12, 30↓ | 10, 50↓ | 20.1 0↔ | 25,9 0↔ | 5,00 ↓ | 11, 70↓ | 6,40 ↓ | 10,5 0↓ | 7,8 0↓ | 3,4 0↓ |

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| K Disponible | mg·kg ⁻¹ | 23,19↓ | 3,20↓ | 31,20↓ | 29,20↓ | 56,80↓ | 46,40↓ | 22,40↓ | 34,80↓ | 34,39↓ | 30,39↓ | 25,99↓ |
| Ca Inter | C mol(+) kg ⁻¹ | 0,82↓↓ | 1,79↓↓ | 1,34↓↓ | 1,70↓↓ | 0,96↓↓ | 1,14↓↓ | 1,37↓↓ | 2,43↓ | 1,59↓↓ | 1,59↓↓ | 1,09↓↓ |
| Mg Inter | C mol(+) kg ⁻¹ | 0,10↓↓ | 0,28↓↓ | 0,28↓↓ | 0,50↓ | 0,44↓↓ | 0,27↓↓ | 0,21↓↓ | 0,33↓↓ | 0,35↓↓ | 0,32↓↓ | 0,26↓↓ |
| Na Inter | C mol(+) kg ⁻¹ | 0,03↓↓ | 0,13↓↓ | 0,13↓↓ | 0,14↓↓ | 0,13↓↓ | 0,14↓↓ | 0,13↓↓ | 0,13↓↓ | 0,13↓↓ | 0,15↓↓ | 0,15↓↓ |
| K Inter | C mol(+) kg ⁻¹ | 0,06↓↓ | 0,14↓↓ | 0,14↓↓ | 0,26↓ | <0,10↓↓ | <0,10↓↓ | 0,10↓↓ | <0,10↓↓ | <0,10↓↓ | 0,10↓↓ | 0,10↓↓ |
| Al Inter | C mol(+) kg ⁻¹ | 0,36↓ | <0,11↓↓ | <0,11↓↓ | <0,11↓↓ | <0,11↓↓ | <0,11↓↓ | <0,11↓↓ | <0,11↓↓ | <0,11↓↓ | <0,11↓↓ | <0,11↓↓ |
| Ac. Inter | C mol(+) kg ⁻¹ | 0,50↓ | 0,50↓ | 0,90↓ | 0,50↓ | 1,10↔ | 1,50↔ | 1,20↔ | 0,20↓ | 0,80↓ | 0,60↓ | 1,00↓ |
| ClCe | C mol(+) kg ⁻¹ | 1,51↓↓ | 2,84↓↓ | 2,80↓↓ | 3,05↓↓ | 2,74↓↓ | 3,09↓↓ | 3,05↓↓ | 3,20↓↓ | 2,92↓↓ | 2,82↓↓ | 2,62↓↓ |
| Textura | | F.A | F.A | F.A | F.A | F.A | F.A | F.A | F.A | F.A | F.A | F.A |

Leyenda: M0: Muestra inicial; SE: Sin Enmienda; B: Biochar; OC: Oxido de calcio; CC: Carbonato de calcio; D: Dolomita; CB: Con *B. subtilis*; SB: Sin *B. subtilis*, F.A: Franco arenoso; *: Normal; ↔: Medio; ↓: Bajo; ↓↓: Muy bajo; †: Fuertemente ácido

La implementación de modificaciones con y sin *B. subtilis* generó transformaciones notables en las características químicas y físicas del terreno, incrementando su calidad y capacidad para la siembra de maíz amarillo duro. El pH, que inicialmente era ácido (4,50), se incrementó significativamente con las modificaciones, en particular con biochar y *B. subtilis* (B-CB), llegando a 4,90, lo que disminuyó la acidez. El pH ácido inicial de 4,28 se equilibró con biochar al 5 %, y la mayoría de las plantas pasaron a un pH demasiado alcalino con biochar al 15 y 30 % (Cervantes, 2022). Por otro lado, Ramirez (2023), en su investigación obtuvo con respecto al pH, un impacto significativo.

La conductividad eléctrica (CE), que muestra la salinidad, experimentó una leve reducción, lo que indica que las modificaciones, en combinación con *B. subtilis*, potencian la absorción de nutrientes. Con respecto a la materia orgánica (MO) se redujo en todos los tratamientos. Por su parte, Cervantes (2022), en sus resultados, la MO disminuyó y se mantuvo con biochar al 5 %, y se elevó a medio para suelo agrícola con biochar al 15 y 30 %. Asimismo, Ramirez (2023), en su investigación, la conductividad eléctrica, la materia orgánica, N y la capacidad de intercambio catiónico no mostraron variaciones significativas.

Uno de los hallazgos más sobresalientes fue el incremento en la disponibilidad de fósforo, particularmente con biochar y *B. subtilis* (B-CB), llegando a 25,90 mg/kg⁻¹, lo que promueve el crecimiento del maíz en terrenos ácidos. También, Ramirez (2023), obtuvo como resultados con respecto al fósforo impactos significativos en los suelos agrícolas degradados de la provincia de La Mar en Ayacucho.

En general, las enmiendas y *B. subtilis* no solo aumentaron los nutrientes vitales, sino que también disminuyeron la acidez y optimizaron las condiciones generales del terreno, impulsando de esta manera la productividad del maíz amarillo duro en terrenos ácidos. Todo esto se corrobora con Cervantes (2022), quien mencionó que el biochar contribuye a los terrenos degradados al suministrar materia orgánica, regular el pH y promover el desarrollo vegetal. Asimismo, Santisteban y Huamán (2020), concluyó mencionando que biochar mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y ayuda a mitigar impactos ambientales negativos, como la reducción de gases de efecto invernadero, el uso excesivo de fertilizantes químicos, olores y amoníaco.

4.2. Evaluación de las características agromorfológicas del cultivo maíz amarillo duro al ser inoculado con *Bacillus subtilis* para acelerar la solubilización de encalantes y biochar con la finalidad de estimular su crecimiento vegetal

❖ Aplicación de *B. subtilis* y su interacción sobre las variables fenológicas, de crecimiento y rendimiento de la variedad de maíz amarillo duro Marginal 28T

Las evaluaciones de normalidad y homogeneidad de las varianzas no mostraron variaciones relevantes, lo que indica que los datos se reparten de manera normal y que la variabilidad entre los grupos es uniforme. El análisis de varianza (Tabla 3) reveló hallazgos significativos y de gran importancia para la mayoría de las variables analizadas. Específicamente, se notó que la interacción entre la utilización de enmiendas y la aplicación de *B. subtilis* indica un efecto sinérgico, subrayando así la importancia de estas prácticas combinadas.

Las variables como la altura de la planta (AP), la altura de la mazorca (Mz), el diámetro del tallo (DT) y el contenido de clorofila foliar (CCL) mostraron efectos sumamente significativos ($p < 0,01$) tanto a nivel individual como en la interacción entre factores ($p < 0,05$). En cuanto al diámetro de tallo (DT), rendimiento de grano (RG), forraje (RF) y materia seca (RMS), también demostraron efectos de gran relevancia ($p < 0,01$), tanto como elementos independientes como en relación con *B. subtilis*. Estos hallazgos señalan que las enmiendas implementadas en conjunto con la inoculación de *B. subtilis*

tienen un impacto significativo en estas variables. No obstante, para otras variables como la floración masculina (FM) y femenina (FF), las enmiendas resultaron ser sumamente relevantes ($p < 0,01$), lo que indica que la implementación de enmiendas influye de manera más significativa en la sincronización de la floración, reduciendo posiblemente el ciclo fenológico del cultivo.

Finalmente, el área foliar (AF) mostró impactos de gran relevancia tanto para las enmiendas como para *B. subtilis*. Sin embargo, la interacción entre estos elementos no fue notable, lo que sugiere que ambos factores funcionan de forma autónoma, sin pruebas de sinergia o interferencia considerable entre ambos.

Tabla 3

Análisis de varianza de las enmiendas, la aplicación de B. subtilis y su interacción sobre las variables fenológicas, de crecimiento y rendimiento de la variedad de maíz amarillo duro Marginal 28T en un suelo ácido

| FV | SW | Levene | Enmienda | <i>B. subtilis</i> | E x B | CV | CMe | Mediana |
|---------------------------|-------------|-------------|---------------|--------------------|---------------|-------|------------------------|---------|
| | | | p>valor | | | % | | |
| FM (días) | 0,274 ns | 0,329 ns | <0,0001* * | 0,4363 ns | 0,0375* | 1,39 | 0,64 | 57,7 |
| FF (días) | 0,065 ns | 0,053 ns | <0,0001* * | 0,4337 ns | 0,0836 ns | 1,34 | 0,63 | 59,55 |
| AP (cm) | 0,084 ns | 0,484 ns | <0,0001* * | 0,0008** | 0,0257* | 4,69 | 84,32 | 195,79 |
| AMz (cm) | 0,118 ns | 0,523 ns | <0,0001* * | 0,001** | 0,0297* | 7,93 | 84,09 | 115,69 |
| AF (cm ²) | 0,173 ns | 0,538 ns | <0,0001* * | 0,003** | 0,1957 ns | 6,8 | 77,17 | 129,26 |
| DT (mm) | 0,417 ns | 0,161 ns | <0,0001* * | <0,0001* * | <0,0001 ** | 2,07 | 0,24 | 23,65 |
| CCL (mg·cm ²) | 0,506 ns | 0,109 ns | <0,0001* * | <0,0001* * | 0,0332* | 3,98 | 3,3 x 10 ⁻⁶ | 0,046 |
| RG (t·ha ⁻¹) | 0,283 ns | 0,233 ns | <0,0001* * | <0,0001* * | <0,0001 ** | 3,73 | 0,01 | 2,81 |
| RFV (t·ha ⁻¹) | 0,388 ns | 0,143 ns | <0,0001* * | 0,0073** | <0,0001 ** | 7,81 | 2,69 | 20,99 |
| RMS (t·ha ⁻¹) | 0,439 ns | 0,051 ns | 0,0241* | 0,0128* | 0,0042* * | 22,55 | 1,61 | 5,63 |

Leyenda: FV: Fuente de variación; SW: Normalidad de Shapiro Wilks; CV: Coeficiente de variación; CMe: Cuadro medio del error; FM: Floración masculina; FF: Floración femenina; AP: Altura de planta; AMz: Altura de mazorca; AF: Área foliar; DT: Diámetro de tallo; CCL: Contenido de clorofila foliar; RG: Rendimiento de grano; RFV: Rendimiento de forraje; RMS: Rendimiento de materia seca

El estudio de varianza subraya la importancia de una estrategia combinada, que incluya enmiendas y *B. subtilis*, para optimizar las condiciones del terreno ácido y potenciar el desempeño del maíz amarillo duro. En los resultados de Ribeiro et al. (2022), en la combinación de ciertas cepas de *Azospirillum* y *Bacillus* favoreció a un mayor desarrollo de las raíces, asimismo, la inoculación con dos cepas de *Azospirillum* mejoró el crecimiento del maíz, evidenciado un aumento en el peso seco, el contenido de nutrientes y la actividad enzimática.

El uso de biochar y *B. subtilis* resultó ser el más eficaz, dado que contrarresta la acidez del terreno y potencia la presencia de nutrientes vitales como el calcio y el magnesio. *B. subtilis* también fomenta el crecimiento al acumular nitrógeno, disolver fósforo y generar fitohormonas. De acuerdo con Cervantes (2022), el biochar ayuda a los suelos degradados al proporcionar materia orgánica, estabilizar el pH y por ende fomenta el crecimiento de los vegetales. Este mismo tratamiento produjo una mayor área foliar, lo que señala un estado nutricional superior y capacidad para fotosintética, promoviendo el desarrollo vegetal. También incrementó el diámetro del tallo con biochar, posiblemente debido a la optimización en la estructura y conservación de nutrientes del terreno. Además, el *B. subtilis* fomentó el crecimiento de las raíces, aumentando la asimilación de nutrientes, corroborando con los resultados de Ribeiro et al. (2022), quien obtuvo con la combinación de ciertas cepas de *Azospirillum* y *Bacillus* mayor desarrollo de raíces.

❖ **Efecto de las interacciones del uso de enmienda sin *B. subtilis* y con *B. subtilis* en los días a la floración masculina (FM) y floración femenina (FF)**

La figura 2 ilustra la relación entre las enmiendas (sin enmienda, biochar, óxido de calcio, carbonato de calcio y dolomita) y la aplicación de *B. subtilis* (CB = con *B. subtilis*, SB = sin *B. subtilis*) durante los días correspondientes a la floración masculina (FM) y de la floración femenina (FF). Se notan variaciones significativas en los días de floración en función de la enmienda empleada y el uso de *B. subtilis*. Los tratamientos sin enmienda mostraron los valores más elevados para FM (DMS=1,946) y FF (DMS=1,935), mientras que biochar y óxido de calcio disminuyeron considerablemente los días de floración. El uso de *B. subtilis* (CB) ha demostrado una disminución en los días de floración. La relevancia estadística sugiere que tratamientos como el biochar y el óxido de calcio con *B. subtilis* (FM-CB, FF-CB) provocaron floraciones más tempranas en comparación con otros métodos.

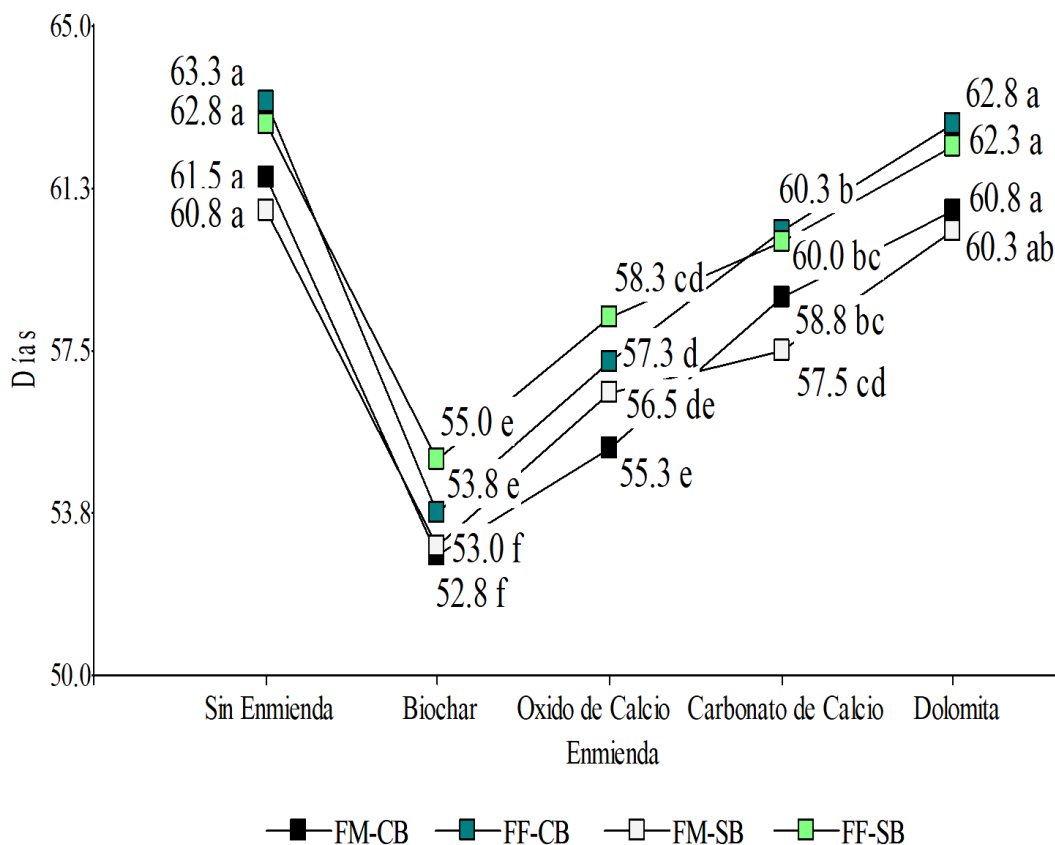
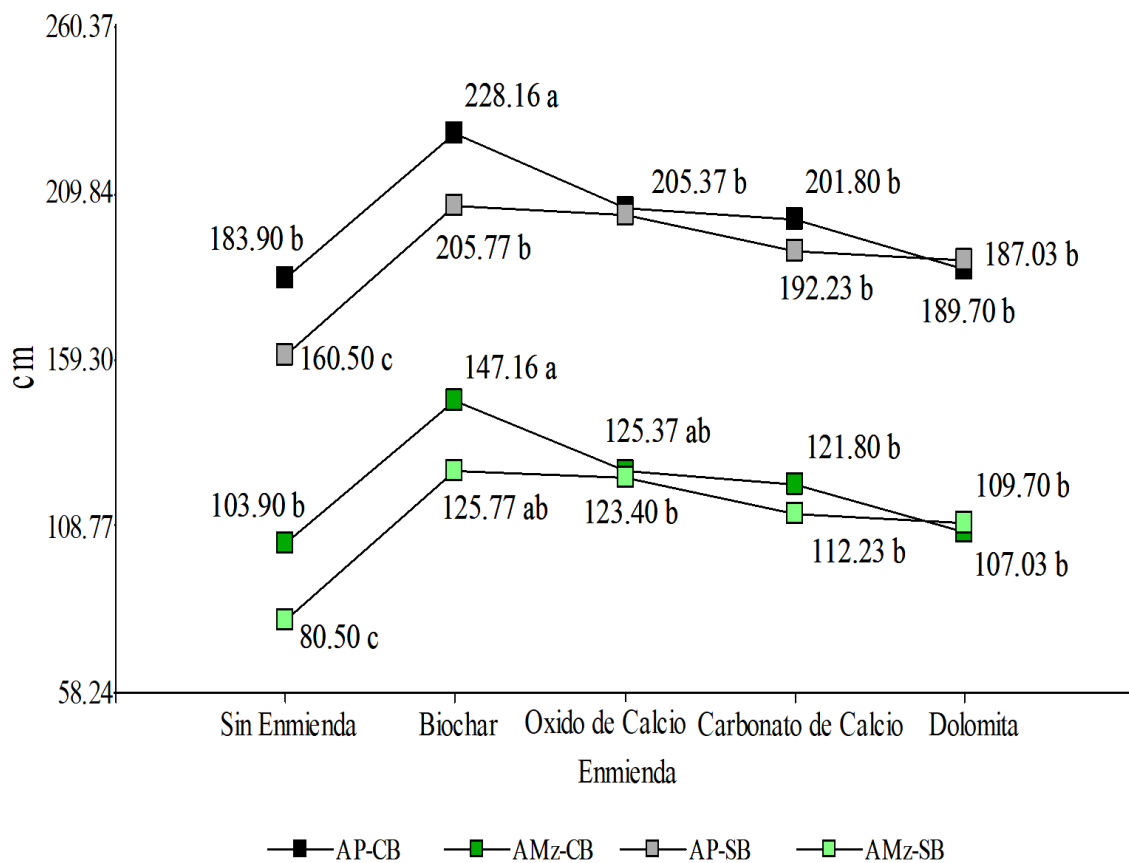


Figura 2

Efecto de las interacciones del uso de enmienda sin *B. subtilis* y con *B. subtilis* en días a la floración masculina (FM) y floración femenina (FF)

❖ **Efecto de las interacciones del uso de enmienda sin *B. subtilis* y con *B. subtilis* en la altura de planta (AP) y altura de la mazorca (AMz)**

La figura 3 muestra la interacción entre las enmiendas y la aplicación de *B. subtilis* para la altura de la planta (AP) y la altura de la mazorca (AMz), evidenciando diferencias notables dependiendo de los tratamientos utilizados. El estudio estadístico corrobora que la relación entre las modificaciones y la aplicación de *B. subtilis* resultó ser sumamente relevante para ambas variables. Las enmiendas por sí mismas experimentaron impactos notables en la altura de la planta (DMS=22,334) y la altura de la mazorca (DMS=22,304), lo que señala que las mejoras en las características químicas y físicas del terreno a través de las modificaciones tuvieron un efecto significativo en el desarrollo del maíz. También, la aplicación de *B. subtilis* como bioestimulante demostró efectos notables, particularmente en combinación con el biochar, donde se consiguieron las alturas más altas tanto para la planta como para la mazorca.



Figura

3

Efecto de las interacciones uso de enmienda sin *B. subtilis* y con *B. subtilis* en la altura de planta (AP) y altura de la mazorca (AMz)

❖ **Efecto de las interacciones del uso de enmienda sin *B. subtilis* y con *B. subtilis* en el diámetro de tallo (mm) y área foliar (cm²)**

El efecto combinado entre las enmiendas y la aplicación de *B. subtilis* para el diámetro del tallo (DT) y el área foliar (AF) en la figura 4 muestra diferencias notables entre los tratamientos. El estudio estadístico revela que tanto las enmiendas como la aplicación de *B. subtilis* generaron impactos notables en estas variables. Las relaciones entre las enmiendas y *B. subtilis* también exhibieron una relevancia significativa, particularmente en la zona foliar, donde la aplicación de biochar mezclado con *B. subtilis* logró los niveles más elevados. Para el diámetro del tallo, las variaciones fueron menos pronunciadas, aunque la aplicación de biochar y óxido de calcio también sobresalió.

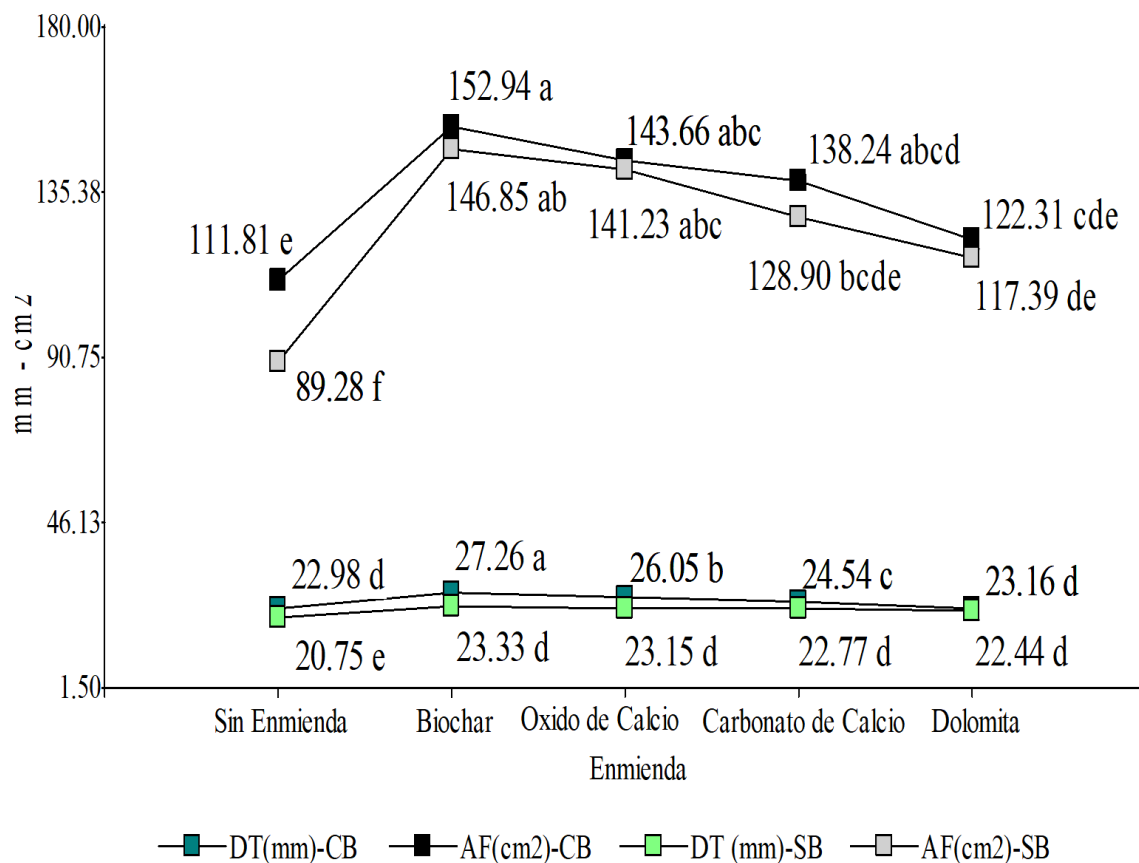


Figura 4

Efecto de las interacciones del uso de enmienda sin *B. subtilis* y con *B. subtilis* en las variables diámetro de tallo (mm) y área foliar (cm²)

❖ **Efecto de las interacciones del uso de enmienda sin *B. subtilis* y con *B. subtilis* en el contenido de clorofila en hoja (CCL)**

En la figura 5, se observan diferencias notables entre las enmiendas y la aplicación con *B. subtilis* para el contenido de clorofila en la hoja (CCL), de acuerdo con el test de medias de Tukey al 0,05 (DMS=0,00443). Se nota que la aplicación de biochar y la inoculación con *B. subtilis* (CB) conducen a un aumento significativo en el contenido de clorofila, en contraste con el tratamiento sin modificación y otros procedimientos, como la dolomita. Igualmente, la incorporación de *B. subtilis* en diversos tratamientos suele potenciar el CCL, aunque la intensidad del efecto depende del tipo de corrección aplicada.

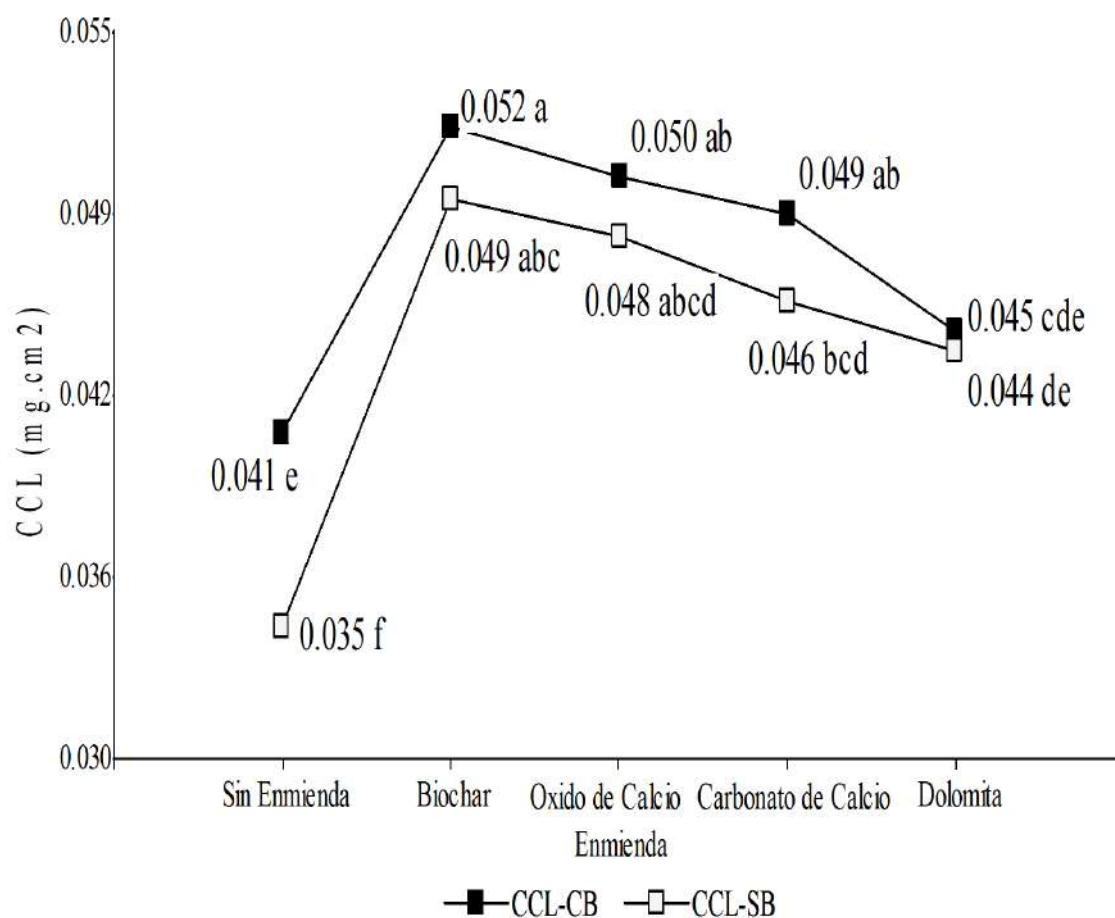


Figura 5

Efecto de las interacciones del uso de enmienda sin *B. subtilis* y con *B. subtilis* en la variable contenido de clorofila en hoja (CCL)

❖ **Efecto de las interacciones del uso de enmienda sin *B. subtilis* y con *B. subtilis* en el rendimiento de forraje (RFV) y rendimiento de grano (RG)**

En la figura 6, que muestra la relación entre las enmiendas y *B. subtilis* en términos de rendimiento de grano (RG) y rendimiento de forraje verde (RFV), se nota que las enmiendas tienen un impacto considerable en ambos parámetros. La interacción también es relevante, lo cual implica que la reacción de las enmiendas cambia dependiendo de la inoculación con *B. subtilis*. El uso de biochar en combinación con *B. subtilis* presenta el rendimiento de grano más alto (DMS=0,25433), en cambio, la utilización de dolomita suele evidenciar rendimientos inferiores en comparación con otros métodos de tratamiento. Para el RFV, se nota una tendencia parecida, en la que el biochar con *B. subtilis* exhibe los valores más elevados (DMS=3,98782), en cambio, la dolomita posee los más bajos.

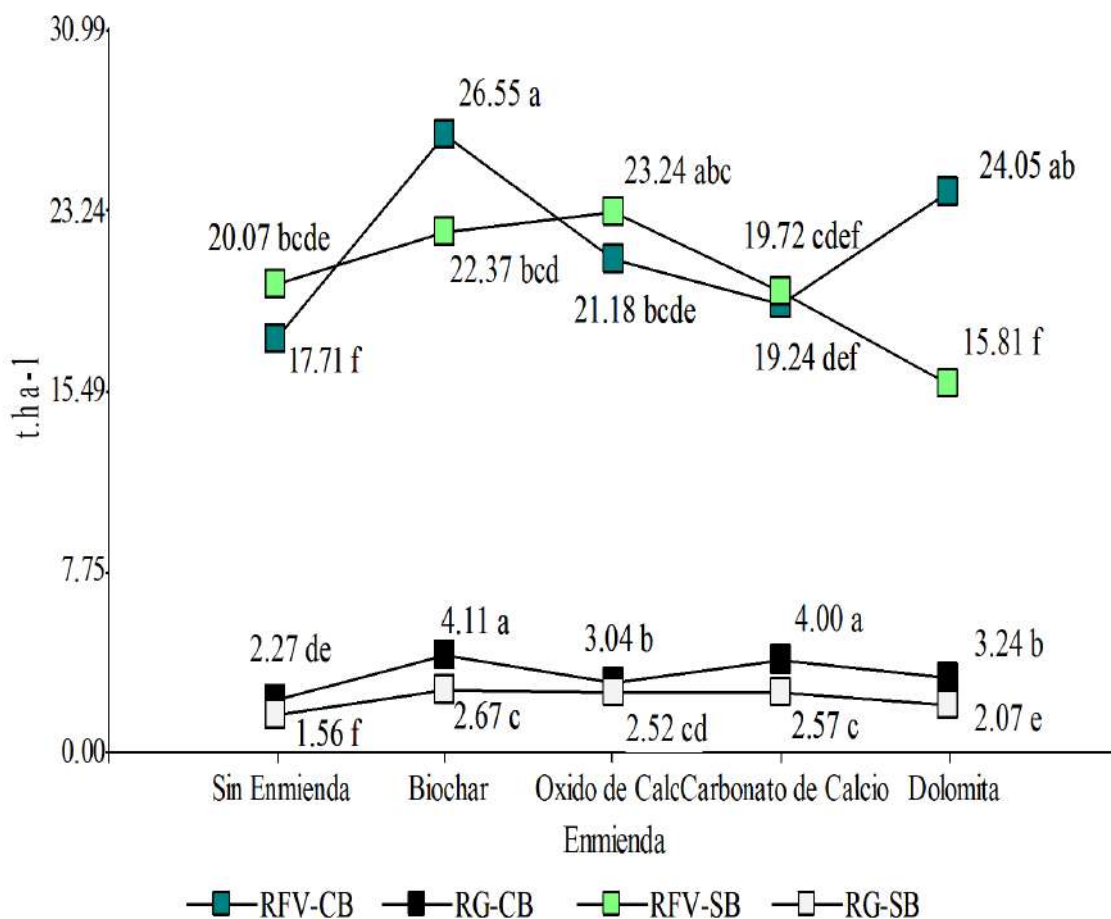


Figura 6

Efecto de las interacciones del uso de enmienda sin *B. subtilis* y con *B. subtilis* en las variables rendimiento de forraje (RFV) y rendimiento de grano (RG)

❖ **Efecto de las interacciones del uso de enmienda sin *B. subtilis* y con *B. subtilis* en el rendimiento de materia seca (RMS)**

Respecto a la figura 7 de rendimiento de materia seca (RMS), se observa una reacción notable tanto a las enmiendas como a la inoculación con *B. subtilis*. Los tratamientos con óxido de calcio sin *B. subtilis* exhiben un incremento significativo en la producción de materia seca, a diferencia de los otros tratamientos, tanto con enmienda como sin enmienda, que muestran rendimientos más reducidos (DMS=3,08781), lo que señala una notable variación en el desempeño de los tratamientos.

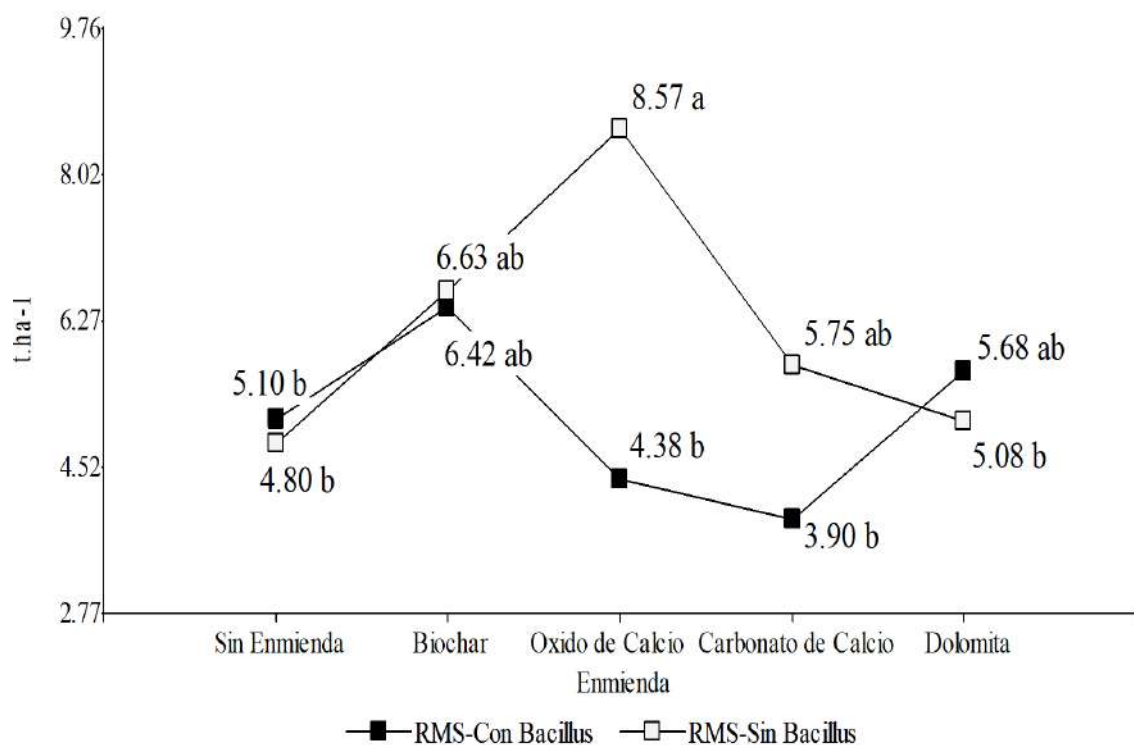


Figura 7

Efecto de las interacciones del uso de enmienda sin *B. subtilis* y con *B. subtilis* en la variable rendimiento de materia seca (RMS)

La producción de materia seca a los 75 días muestra el desarrollo vegetal y la acumulación de biomasa en el maíz. La aplicación de óxido de calcio incrementa la presencia de nutrientes vitales como el calcio y el magnesio al contrarrestar el aluminio presente en el suelo, promoviendo así la producción de biomasa a los 75 días. Los hallazgos de Ribeiro et al. (2022) indican que la mezcla de algunas variedades de *Azospirillum* y *Bacillus* promovió un desarrollo más vigoroso de las raíces. De igual forma, la inoculación con dos variedades de *Azospirillum* incrementó el crecimiento del maíz, mostrando un aumento en el peso seco, la cantidad de nutrientes y la actividad de las enzimas. Por otro lado, los tratamientos sin modificación y con dolomita no demostraron avances notables, resaltando que el óxido de calcio, mezclado con microorganismos beneficiosos, es la alternativa más eficaz para terrenos ácidos cuyo propósito sea producir forraje para la ganadería sustentable.

Correlación entre las características morfológicas, rendimiento y nutricionales, tras el uso de enmiendas y *B. subtilis* en maíz amarillo duro

La correlación de Pearson muestra múltiples vínculos importantes entre las variables de crecimiento, rendimiento y calidad del maíz amarillo duro en condiciones de suelos ácidos. Las variables de floración masculina (FM) y floración femenina (FF) exhiben una

correlación sumamente intensa y relevante ($r = 0,99$, $p < 0,01$), lo que señala una sincronización natural en el ciclo de crecimiento del maíz provocada por la interacción entre las enmiendas y la aplicación de *B. subtilis*.

En contraposición, tanto la altura de la planta (AP) como la de la mazorca (Mz) muestran correlaciones negativas y de gran importancia con FM y FF ($r = -0,81$, $p < 0,01$), lo que sugiere que un ciclo de floración más extenso está vinculado a plantas y mazorcas de menor volumen. De manera parecida, el diámetro del tallo (DT) revela una correlación positiva y significativa con AP ($r = 0,96$, $p < 0,01$), Mz ($r = 0,97$, $p < 0,01$) y otras variables como el área foliar (AF). Esto señala que las plantas que experimentan un mayor crecimiento vegetativo en respuesta al uso de enmiendas y *B. subtilis*, suelen poseer tallos más fuertes, lo que sugiere una estructura más robusta y saludable.

El rendimiento en grano (RG) también evidencia una correlación fuerte y significativa con AP ($r = 0,83$, $p < 0,01$) y AF ($r = 0,95$, $p < 0,01$), destacando así la relevancia del crecimiento vegetal en la acumulación de biomasa y productividad a través de la utilización de enmiendas y *B. subtilis* en suelos ácidos. No obstante, las correlaciones entre el rendimiento en forraje (RF) y la materia seca (RMS) son más moderadas, lo que señala una relación menos directa entre estas variables y los rasgos de crecimiento.

Respecto a la proteína cruda (PC), el estudio de correlación de Pearson no revela vínculos relevantes con las variables de crecimiento y rendimiento evaluadas principalmente, dado que los coeficientes de correlación logrados son bajos y no relevantes ($p > 0,01$). Se percibe una correlación más próxima entre PC y la altura de la mazorca (Mz), aunque aún no es significativa ($r = 0,21$, $p > 0,01$). Esto sugiere que la acumulación de proteína bruta en el maíz amarillo duro no parece tener una relación directa con el crecimiento vegetal o la productividad de la planta en suelos ácidos que han sido tratados con enmiendas y *B. subtilis*.

| | FM | FF | AP | AMz | AF | DT | CCL | RG | RFV | RMS |
|-----|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| FF | 0.99** | | | | | | | | | |
| AP | -0.81** | -0.80 * | | | | | | | | |
| AMz | -0.81** | -0.80 * | 1.00 ** | | | | | | | |
| AF | -0.59 ns | -0.58 ns | 0.89 ** | 0.89 ** | | | | | | |
| DT | -0.84** | -0.84 ** | 0.96 ** | 0.97 ** | 0.80 * | | | | | |
| CCL | -0.76** | -0.75 * | 0.96 ** | 0.96 ** | 0.83 ** | 0.99 ** | | | | |
| RG | -0.52 ns | -0.51 ns | 0.83 ** | 0.83 ** | 0.95 ** | 0.78 ** | 0.81 ** | | | |
| RFV | -0.46 ns | -0.46 ns | 0.66 * | 0.66 * | 0.64 * | 0.58 ns | 0.57 ns | 0.70 * | | |
| RMS | -0.37 ns | -0.41 ns | 0.49 ns | 0.50 ns | 0.72 * | 0.49 ns | 0.51 ns | 0.74 ** | 0.29 ns | |
| PC | 0.03 ns | -0.02 ns | 0.21 ns | 0.21 ns | 0.27 ns | 0.21 ns | 0.28 ns | 0.25 ns | 0.33 ns | 0.37 ns |

Figura 8

Matriz de Correlación de Pearson entre características morfológicas, rendimiento y proteína en maíz amarillo variedad Marginal 28T, bajo enmiendas y aplicación de *B. subtilis*

La sincronización entre la floración masculina y femenina sugiere que optimizar este ciclo mediante la utilización de las enmiendas y *B. subtilis*, se potencia el crecimiento de la planta. Sin embargo, la correlación negativa con la altura indica que una floración precoz puede disminuir la habilidad para absorber luz y perjudicar el rendimiento. Por ello, Want *et al.* (2022), mencionó que *Bacillus subtilis* (BS) y *Pseudomonas fluorescens* (PF) incrementan las actividades enzimáticas del suelo, impulsadas por el crecimiento bacteriano, beneficiando la fertilidad del suelo.

La ausencia de una correlación relevante entre la proteína cruda y las variables de crecimiento o rendimiento indica que la calidad proteica del grano no se ve afectada directamente por técnicas que potencian el crecimiento de las plantas, como el encalado o el biochar. El almacenamiento de proteínas se basa en elementos como la gestión del nitrógeno y la genética del maíz (Chan-Chan *et al.*, 2021; Obando *et al.*, 2022). Para los sistemas ganaderos que dependen del maíz, resultaría imprescindible aplicar tácticas concretas para incrementar la cantidad de proteínas, considerando su influencia en la dieta animal y el valor nutricional del forraje.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos mediante la ejecución de cada objetivo planteado se establece a las siguientes conclusiones:

1. El uso de modificadores, especialmente el biochar en combinación con *B. subtilis*, ha probado ser una práctica sumamente eficiente en suelos ácidos, dado que mejoran las características químicas del suelo y aumentan la disponibilidad de nutrientes, en particular fósforo.
2. La aplicación de enmiendas de biochar junto con *B. subtilis* ha demostrado ser una táctica sumamente eficaz en terrenos ácidos, dado que potencia el crecimiento, desarrollo y productividad del maíz amarillo duro Marginal 28T, tanto en la producción de grano como de forraje.

RECOMENDACIONES

En función a los datos obtenidos y del análisis realizado por el investigador, se recomienda:

1. Incorporar las enmiendas con *B. subtilis* como táctica efectiva para el fomento de prácticas de agricultura sustentable en agroecosistemas tropicales, promoviendo la capacidad de resistencia ante el deterioro de los suelos.
2. Seguir realizando investigaciones sobre aplicaciones de enmiendas y *B. subtilis* dentro de la región Loreto, para comparar cuanto varían de acuerdo al lugar y al tipo de suelo y así poder dar una solución a nuestros productores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, A. J., Sène, D., De Paula, G. F., Demétrio, G. B., y Matsumoto, L. S. (2021). Influencia de *Bacillus* sp. sobre los atributos químicos y microbiológicos del suelo y el desarrollo de la soja y el maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12 (3), 383 - 393. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7959722>
- Apesteuguía, M., Pérez, J. D., y Orcaray, L. (2017). Uso de abonos orgánicos: una fertilización razonada para el cultivo del maíz. *Navarra Agraria*, 221, 30 - 34. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5912669>
- Arriaga, M. R., Huerta, A. G., Portugal, V. O., Gabriel, B., Reyes, R., Castillo, A. M., De Jesús, D., López, P., Isaac, L., Gómez, A., y De Investigación, C. (2012). Contribución de fósforo al mejoramiento de calidad en liliun y la relación con *Glomus fasciculatum* y *Bacillus subtilis** Phosphorus Contribution to improving quality in liliun and its relationship with *Glomus fasciculatum* and *Bacillus subtilis*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v3n1/v3n1a9.pdf>
- Bacterias promotoras del crecimiento vegetal | Intagri S. C. (2013). <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/bacterias-promotoras-del-crecimiento-vegetal>
- Badía, M. M. R., Bello-González, M. Á., Rocafull, Y. R., Lugo-Moya, D., y Sánchez, J. R. (2020). Utilización de cepas de *Bacillus* como promotores de crecimiento en hortalizas comerciales. *Acta Agronómica/Acta Agronómica*, 69 (1), 54 - 60. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.79606>
- Barandiarán, M. A., (2020). Manual técnico del cultivo de maíz amarillo duro. [Libro electrónico] Lima, Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://hdl.handle.net/20.500.12955/1643>
- Cabrera Caruajulca, M. (2023). *Microorganismos eficaces en la productividad de maíz choclero inía 603 (Zea mays L.) en la estación experimental agraria – baños del inca, Cajamarca*. [Para optar por el título profesional]. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Calva, C., y Espinosa, J. (2017). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. *Siembra*, 4 (1), 110 - 120. <https://doi.org/10.29166/siembra.v4i1.505>

- Callero, G., (2011). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Revista Corpoica – ciencia y tecnologías agropecuarias*, 159 – 166. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/bacterias-promotoras-del-crecimiento-vegetal>
- Castellanos, J. Z. (2014). *Manejo y corrección de la acidez de los suelos*. Hojas técnicas de Fertilab, México. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/manejo-y-correccion-de-acidez-de-suelo#>
- Cervantes Ramos, J. G. (2022). *Efecto del biochar de molle (Schinus molle L.) en la recuperación de suelos degradados, usando como indicador el maíz (Zea mays L.)*, Huánuco 2021. [Tesis de pregrado], Universidad de Huánuco; Huánuco, Perú. pp, 1 – 108. <https://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/3408/CERVANTES%20RAMOS%2C%20Jhadyra%20Guadalupe.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chávez, A., Narro, L. A., Jara, T. W., Narro, T. P., Medina, A. E., Cieza, I., Díaz, P., Alvarado, R. and Escobal, F. (2022). Tecnologías disponibles para incrementar la producción de maíz en Perú. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 14 (1), 31. <https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2507>
- Chung Montoya, F. B. (2019). *Fuentes encalantes y fosfatadas en la recuperación de un suelo ácido de Tingo María, en maíz (Zea mays L.) en invernadero*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/742810d1-b9e0-4db3-a320-25f48e81c3bc/content>
- Cobos, M. G. (2017). Efecto de la aplicación de microorganismos (*Bacillus subtilis* *Trichoderma asperellum* T 34) y ácidos orgánicos, en un medio calcáreo en diferentes formas de Zn y dosis de P, sobre la bioacumulación de P y Zn en trigo. <https://idus.us.es/handle/11441/70609>
- Cruz-Macías, W. O., Rodríguez-Larramendi, L. A., Salas-Marina, M. Á., Hernández-García, V., Campos-Saldaña, R. A., Chávez-Hernández, M. H. and Gordillo-Curiel, A. (2020). Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, 38 (3), 475 - 480. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.506>
- Díaz-Chuquizuta, P., Díaz-Chuquizuta, P., Mendoza-Paredes, M., Ruiz, I. C., Jara-Calvo, T. W., y Valdés-Rodríguez, O. A. (2022). Nuevo híbrido trilineal de maíz amarillo duro para el trópico peruano. *Agronomía Mesoamericana*

- (Impresa)/Revista *Agronomía Mesoamericana*/Agronomía Mesoamericana, 51177. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.51177>
- Elena, G., Olaya, A., y Pisco, R. R. (2010). Evaluating changes in some ultisol physical and chemical properties caused by *Bacillus subtilis*. *Revista Colombia Biotecnología*. <http://www.redalyc.org/pdf/776/77617808017.pdf>
- Fao (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura). (2019) en línea. <https://www.fao.org/news/archive/news-by-date/2019/es/>
- Gómez Pérez, P. (2019). *Caracterización agro-morfológica de 98 poblaciones de maíces nativos en Sinaloa, México*. [Tesis de pregrado], Universidad Autónoma de Sinaloa; Sinaloa, México. <https://fmvz.uas.edu.mx/images/posgrado/Tesis/COHORTE%202017-2019/Valeria%20Gomez%20Perez.pdf>
- González-León, Y., Ortega-Bernal, J., Anducho-Reyes, M. Á., y Mercado-Flores, Y., (2022). *Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: Características generales y su aplicación en la agricultura. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 25 (e25). <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.520>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]. (2016). *Maíz variedad marginal 28 Tropical*. Repositorio Institucional MIDAGRI. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/980>
- Kennedy, F. A. (2021). *EEA El Porvenir - Exposición de avance de metas: Agenda 2021*. <https://hdl.handle.net/20.500.12955/1564>
- Leveau, M., Dumler, S., Anaya De La Rosa, R., Alegre, J and Ladd, B. (2021). Uso de biocarbón en el balance de nitrógeno en suelos aluviales de San Ramón/ Chanchamayo/Perú. *Ecología Aplicada*, 20 (2), 179 - 188. <https://doi.org/10.21704/rea.v20i2.1808>
- Maguiña-Maza, R. M., Francisco, S. C., Pando, G. L., Sessarego, E., Chagray, N. H., Pujada, H. N. and Airahuacho, F. E. (2021). Potencial agronómico, productivo, nutricional y económico de cuatro genotipos de maíz forrajero en el valle de Chancay, Perú. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22 (3), [e1931](https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num3_art:1931). https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num3_art:1931
- Marginal 28 Tropical. (2019). Disponible en <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/626>
- Martínez, M. E. E. (2021). Principales enfermedades del maíz (*Zea mays*, L.) en Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9 (2), 53 - 59. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/download/469/446>

- Melo, H. A., y Afanasjeva, N. (2023). Efecto de la aplicación de biochar en la actividad microbiana en suelos. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 21 (2), 193 - 209. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2197>
- Mondragón-Sánchez, A., Medina-Orozco, L. E., Sánchez-Duque, A., y Núñez-Oregel, V. (2021). Efecto de la aplicación de biocarbón en el rendimiento de maíz en Michoacán, México. *Terra Latinoamericana*, 39 (e896). <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.896>
- Montoya, C., y Braulio, F. (2019). *Fuentes encalantes y fosfatadas en la recuperación de un suelo ácido de Tingo María, en maíz (Zea mays L.) en invernadero*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Agraria La Molina; Lima, Perú. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/UNALM/3870/1/chung-montoya-fernando-braulio.pdf>
- Raza S., Miao N., Wang P., Ju X., Chen Z., Zhou J., y Kuzyakov Y. (2020). Dramatic loss of inorganic carbon by nitrogen-induced soil acidification in Chinese croplands. *Global change biology*, 26 (6), 3738 - 3751. <https://doi.org/10.1111/gcb.15101>.
- Ramirez Palomino, J. R. (2023). Influencia del biochar en suelos agrícolas degradados de la provincia de La Mar – Ayacucho, 2021. [Tesis de pregrado]. Universidad Continental; Huancayo, Perú. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13147/1/IV_FIN_107_TE_Ramirez_Palomino_2023.pdf
- Ribeiro, V. P., Gomes, E. A., De Sousa, S. M., De P Lana, U. G., Coelho, A. M., Marriel, I. E., y Oliveira-Paiva, C. A. (2022). Co-inoculation with tropical strains of *Azospirillum* and *Bacillus* is more efficient than single inoculation for improving plant growth and nutrient uptake in maize. *Archives Of Microbiology*, 204 (2). <https://doi.org/10.1007/s00203-022-02759-3>
- Rodríguez, M., y Rodríguez, M. (2024). *Características del maíz que lo hacen una planta versátil del maíz*. <https://delmaiz.info/caracteristicas/>
- Rodríguez-Hernández, M. G., Gallegos-Robles, M. Á., Rodríguez-Sifuentes, L., Fortis-Hernández, M., Luna-Ortega, J. G., y González-Salas, U. (2020). Cepas nativas de *B. subtilis* spp. como una alternativa sostenible en el rendimiento de forraje de maíz. *Terra Latinoamericana*, 38 (2), 313 - 321. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.690>
- Rodríguez-Suárez, L., Del Carmen Falcón-Acosta, M., y Ordoñez-Sánchez, Y. C. (2020). Caracterización de residuos sólidos para encalar y fertilizar portadores

de calcio y nitrógeno. *Cultivos Tropicales*, 41 (2), 02.
<https://doi.org/10.1234/ct.v41i2.1546>

Santisteban, A. A., y Huamán, H. A. P. (2020). *Uso del biochar como alternativa de mejoramiento de la calidad de los suelos mediante una revisión sistemática*. [Tesis de pregrado]. Universidad César Vallejo.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60813>

Species. (2022). *Catalogue of Life: 2017 Annual Checklist*.
<http://www.catalogueoflife.org/annualchecklist/2017/details/species/id/6dde3618bacd6befcd443fd74fea6b7>

Stein, T. (2005). *Bacillus subtilis* antibiotics: structures, syntheses and specific functions. *Molecular Microbiology*, 56 (4), 845 - 857. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2005.04587.x>

Ubau, D. B. R., Martínez, D. U. T., y Pérez, H. J. V. (2022). Uso sostenible de la cascarilla de arroz para productos de valor añadido. *El Higo*, 12 (1), 2 - 27.
<https://doi.org/10.5377/elhigo.v12i1.14516>

Uso de *Bacillus subtilis* como biofungicida en agricultura y jardinería. (s/f).
https://controlbio.es/es/blog/c/76_uso-de-bacillus-subtilis-como-biofungicida-en-agricultura-y-jardineria.html

Velázquez-Maldonado, J., Juárez-López, P., Anzaldo-Hernández, J., Alejo-Santiago, G., Valdéz-Aguilar, L. A., Alía-Tejacal, I., López-Martínez, V., Pérez-Arias, G. A., y Guillén-Sánchez, D. (2019). Concentración nutrimental de biocarbón de cascarilla de arroz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42 (2), 129 - 136.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2019.2.129-136>

ANEXOS

Anexo 01: Comportamiento del clima durante el desarrollo de la investigación

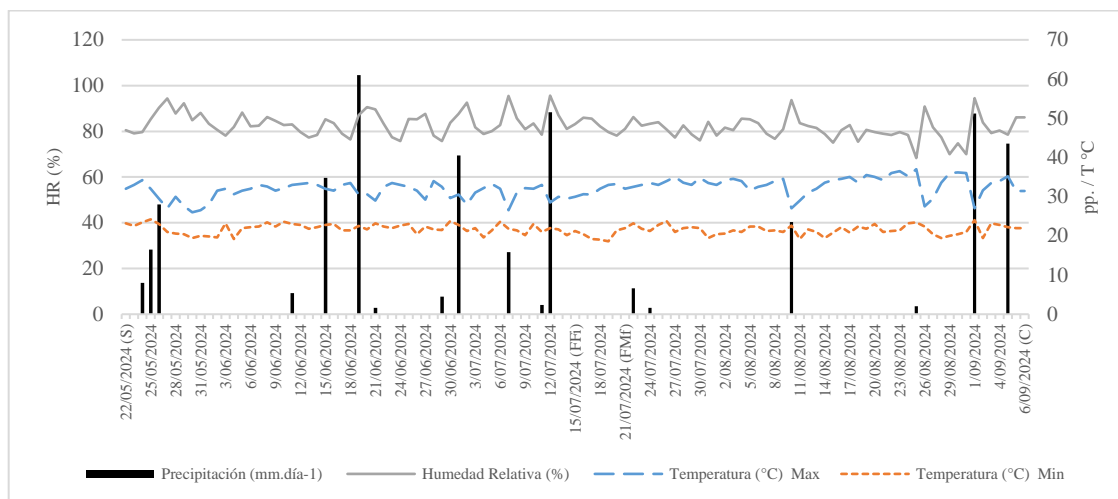


Figura 9

Comportamiento del clima durante el desarrollo de la investigación

Leyenda: S: Siembra; FMI: Inicio de floración masculina; FMF: Fin de floración masculina; FFI: Inicio de floración femenina; FFF: Fin de floración femenina; CFv: Cosecha de forraje verde

Anexo 02: Características físico y químico del suelo de la parcela experimental de maíz amarillo duro Marginal 28T sin aplicación de enmiendas

Tabla 4

Características físico y químico del suelo de la parcela experimental de maíz amarillo duro Marginal 28T, en condiciones de secano, antes de la aplicación de enmiendas

| Parámetro | Unidad | Resultado |
|-----------------------|---------------------------|-----------|
| pH | - | 4.5 |
| CE | mS m ⁻¹ | 8 |
| MO | g kg ⁻¹ | 24 |
| N | g kg ⁻¹ | 0.9 |
| P | g kg ⁻¹ | 2.1 |
| K | mg·kg ⁻¹ | 23.19 |
| Ca ⁺² | C mol(+)·kg ⁻¹ | 0.82 |
| Mg ⁺² | C mol(+)·kg ⁻¹ | 0.1 |
| K ⁺ | C mol(+)·kg ⁻¹ | 0.06 |
| Na ⁺ | C mol(+)·kg ⁻¹ | 0.03 |
| Al ⁺³ | C mol(+)·kg ⁻¹ | 0.36 |
| Acidez intercambiable | C mol(+)·kg ⁻¹ | 0.5 |
| CICe | C mol(+)·kg ⁻¹ | 1.51 |
| Arena | % | 68.16 |
| Limo | % | 16.66 |
| Arcilla | % | 15.18 |

Anexo 03: Variables evaluadas

Tabla 5

Variables evaluadas en el trabajo de investigación

| Variable | Unidad de Medida | Instrumento de Medición | Frecuencia de Evaluación | Descripción del Procedimiento/Cálculo |
|------------------------------------|------------------|-------------------------|------------------------------|--|
| Días a floración masculina | días | Calendario | Al inicio de la floración | Aparición de las primeras flores masculinas. |
| Días a floración femenina | días | Calendario | Al inicio de la floración | Aparición de las primeras flores femeninas. |
| Tiempo para alcanzar VT | días | Calendario | Al 50 % de las plantas en VT | 50 % de las plantas alcancen el estado vegetativo (panoja visible). |
| Tiempo para alcanzar R1 | días | Calendario | Al 50 % de las plantas en R1 | 50 % de las plantas alcancen el estado reproductivo (estigmas visibles). |
| Diámetro de tallo | cm | Vernier digital | 40 y 60 DDS | Tercer entrenudo por debajo de la mazorca principal. |
| Longitud de hoja | cm | Flexómetro | 40 y 60 DDS | De la hoja de la mazorca principal. |
| Ancho de hoja | cm | Flexómetro | 40 y 60 DDS | De la hoja de la mazorca principal. |
| Área foliar | cm ² | Cálculo | 40 y 60 DDS | Cálculo: (Longitud x Ancho) x 0,75. |
| Altura de planta | cm | Flexómetro | 40 y 60 DDS | Medición de la altura de 10 plantas por unidad experimental. |
| Contenido de clorofila | Unidades SPAD | Medidor SPAD | 40 y 60 DDS | Lectura directa del medidor en hojas seleccionadas. |
| Peso de forraje verde (PFV) | kg | Balanza | 75 DDS | Pesado de todo el forraje verde en campo. |
| Rendimiento de forraje verde (RFV) | t/ha | Cálculo | 75 DDS | Cálculo según la ecuación $RFV = (10\ 000\ m^2 / A^2) \times (PC\ FV) \times 1000$. RFV = Rendimiento de forraje verde por hectárea. A2 = Área cortada del forraje verde en m ² . 1000 = (factor de conversión de kg a t) PC FV = peso de forraje verde en campo (kg). |
| Peso de mazorca | kg | Balanza | 108 DDS | Pesado de las mazorcas cosechadas. |
| Rendimiento de grano (RG) | t/ha | Cálculo | 108 DDS | Cálculo según la ecuación $RG = (10000\ m^2 / \text{Área}) \times PC \times ID \times Fh / 1000$. RG es el rendimiento en t·ha ⁻¹ ; 10 000 son los m ² de una hectárea; Área, es la superficie cosechada de la unidad experimental (m ²); PC es el peso de |

| | | | | |
|------------------------------|------|--------------------|---------|---|
| Peso de hojas | g | Balanza digital | 108 DDS | campo de mazorcas cosechadas por parcela; ID es el índice de desgrane (peso de grano/peso de mazorca); Fh es el factor de corrección por humedad ajustado al 14 % y 1000 es el factor de conversión en ha ⁻¹ . |
| Peso de tallos | g | Balanza digital | 108 DDS | Pesado de las hojas de las plantas seleccionadas. |
| Rendimiento de materia seca | t/ha | Cálculo | 108 DDS | Pesado de los tallos de las plantas seleccionadas. |
| Porcentaje de proteína cruda | % | Método de Kjeldahl | 108 DDS | Cálculo a partir del peso seco de las plantas. Análisis de laboratorio en muestras secas. |

Leyenda: CE: Conductividad eléctrica; MO: Materia orgánica; N: Nitrógeno disponible; P: Fósforo disponible; K: Potasio disponible; Ca²⁺: Calcio intercambiable; Mg²⁺: Magnesio intercambiable; K⁺: Potasio intercambiable; Na⁺: Sodio intercambiable; Al³⁺: Aluminio intercambiable; Ac: Acidez; CICE: Capacidad de intercambio catiónico efectivo

Anexo 04: Codificación y descripción de tratamientos con inoculante

| N | Código Tratamientos | Descripción | | Repeticiones |
|----|---------------------|--------------|----------------|--------------|
| 1 | T1 | Sin enmienda | Con inoculante | 3 |
| 2 | T2 | Sin enmienda | Sin inoculante | 3 |
| 3 | T3 | Biochar | Con inoculante | 3 |
| 4 | T4 | Biochar | Sin inoculante | 3 |
| 5 | T5 | Cal agrícola | Con inoculante | 3 |
| 6 | T6 | Cal agrícola | Sin inoculante | 3 |
| 7 | T7 | Magnecal | Con inoculante | 3 |
| 8 | T8 | Magnecal | Sin inoculante | 3 |
| 9 | T9 | Dolomita | Con inoculante | 3 |
| 10 | T10 | Dolomita | Sin inoculante | 3 |

Figura 10

Codificación y descripción de los tratamientos con inoculación en el trabajo de investigación

Anexo 05: Diseño de campo con distribución de tratamientos en bloques

| | | BLOQUE I | | BLOQUE II | | BLOQUE III | |
|-----|--|----------|-------|-----------|-------|------------|--|
| | | 5 m | 1.2 m | 5 m | 1.2 m | 5 m | |
| 6 m | | T1 | | T2 | | T3 | |
| 6 m | | T3 | | T4 | | T5 | |
| 6 m | | T5 | | T6 | | T2 | |
| 6 m | | T2 | | T1 | | T1 | |
| 6 m | | T4 | | T3 | | T7 | |
| 6 m | | T6 | | T5 | | T9 | |
| 6 m | | T8 | | T8 | | T6 | |
| 6 m | | T7 | | T7 | | T4 | |
| 6 m | | T9 | | T10 | | T8 | |
| 6 m | | T10 | | T9 | | T10 | |

Figura 11

Diseño y distribución de los tratamientos en bloques en el experimento

Sergio Axel Coral Cárdenas

Inf. final de tesis_Sergio A. Coral Cárdenas

 Revisión de Informes de Tesis - Unidad de Investigación FCA

Detalles del documento

Identificador de la entrega

tmoid::3117:534771916

Fecha de entrega

1 dic 2025, 10:35 GMT-5

Fecha de descarga

1 dic 2025, 10:39 GMT-5

Nombre del archivo

Inf. final de tesis_Sergio A. Coral Cárdenas_11-11-2025.docx

Tamaño del archivo

1.8 MB

56 páginas

13.844 palabras

76.544 caracteres




18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.