UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA COMBINADA CON BIOINSUMOS SOBRE EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y PROPIEDADES QUÍMICA S DEL SUELO EN MAÍZ (*Zea mays* L.) PARA FORRAJE

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniera Agrónoma

AUTORA:

Campos Espinoza Priscila Katherine

TUTOR:

Pincay Ronquillo Wellington Jean

LA MANÁ-COTOPAXI
AGOSTO-2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Campos Espinoza Priscila Katherine, con cédula de ciudadanía No. 1208339042, declara ser autora del presente **"EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA COMBINADA CON BIOINSUMOS SOBRE EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO EN MAÍZ (*Zea mays* L.) PARA FORRAJE"**, siendo el Ing. Wellington Jean Pincay Ronquillo MSc., Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

La Maná, agosto del 2026

Campos Espinoza Priscila Katherine
C.C: 1208339042

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del proyecto de investigación sobre el título:

"EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA COMBINADA CON BIOINSUMOS SOBRE EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y PROPIEDADES QUÍMICA S DEL SUELO EN MAÍZ (*Zea mays* L.) PARA FORRAJE", de Campos Espinoza Priscila Katherine, de la carrera de Agronomía, considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa

La Maná, agosto del 2026

Pincay Ronquillo Wellington Jean
C.C: 1206384586
TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, Carrera de Agronomía; por cuanto, la postulante: Campos Espinoza Priscila Katherine, con el título del Proyecto de Investigación: **"EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA COMBINADA CON BIOINSUMOS SOBRE EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO EN MAÍZ (*Zea mays* L.) PARA FORRAJE",** ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometidos al acto de sustentación del trabajo de titulación.

La Maná, agosto del 2026

Para constancia firman:

Núñez Muñoz José Luis.
C.C: 1803082849
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Espinosa Cunuhay Kleber Augusto.
C.C: 0502612740
LECTOR 2 (MIEMBRO)

. Macías Pettao Ramón Klever
C.C: 0910743285
LECTOR 3 (SECRETARIO)

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios por concederme la vida, la salud y la fortaleza necesarias para culminar este trabajo de investigación.

Agradezco de manera especial a la Universidad, por brindarme la formación académica y los conocimientos necesarios para mi desarrollo profesional.

Mi profundo agradecimiento a mi tutor de tesis el Ing. Wellington Pincay Ronquillo, por su orientación, paciencia y valiosos aportes científicos, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de la presente investigación.

A los docentes, quienes a lo largo de mi formación universitaria contribuyeron con sus enseñanzas y experiencia académica.

Priscila

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo en primer lugar a mis padres, por su amor incondicional, sacrificio y acompañamiento constante. Gracias por ser mi principal fortaleza y motivación para culminar esta etapa de mi vida académica.

A mis hermanos, por su cariño, apoyo, palabras de aliento y por estar presentes en los momentos más importantes de mi vida. Su confianza y afecto han sido una fuente de motivación para seguir adelante y alcanzar esta meta.

De igual manera dedico este logro a mi esposo, por su amor incondicional, su paciencia, comprensión y apoyo constante durante cada etapa de este proceso. Gracias por creer en mí, motivarme a seguir adelante y ser mi fortaleza en los momentos más difíciles.

De manera especial, dedico este logro a mi hijo, mi más grande inspiración. Gracias por iluminar mis días con tu sonrisa y por ser el motor que me impulsó a terminar este sueño. Este logro también es tuyo, mi amor.

Priscila

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
EXTENSIÓN LA MANÁ

TÍTULO: EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA COMBINADA CON BIOINSUMOS SOBRE EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO EN MAÍZ (*Zea mays* L.) PARA FORRAJE.

Autora:
Campos Espinoza Priscila Katherine

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la fertilización química combinada con bioinsumos (*Bacillus* spp., *Trichoderma* spp. y diatomeas) sobre el crecimiento, producción, propiedades químicas del suelo y rentabilidad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) destinado a forraje. El estudio se desarrolló en un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con cinco tratamientos y cuatro repeticiones: testigo, fertilización química, fertilización química + *Bacillus* spp., fertilización química + *Trichoderma* spp. y fertilización química + diatomeas. Se evaluaron variables de crecimiento, producción, pH, conductividad eléctrica del suelo y análisis económico. Los resultados evidenciaron diferencias estadísticas significativas en la mayoría de las variables de crecimiento, destacándose la fertilización química y su combinación con *Trichoderma* spp., que registraron la mayor altura de planta (188.20 cm) y el mayor diámetro del tallo (2.38 cm). En la producción, la fertilización química y la combinación con *Trichoderma* spp. alcanzaron el mayor rendimiento forrajero con 32100 kg ha^{-1}, equivalente a un incremento del 68,9 % respecto al tratamiento testigo (19000 kg ha^{-1}). Asimismo, el tratamiento con *Trichoderma* spp. produjo las mazorcas de mayor tamaño, mientras que la combinación con diatomeas presentó el mayor peso total de mazorca. Las propiedades químicas del suelo se mantuvieron dentro de rangos adecuados para el desarrollo del cultivo, sin evidenciar problemas de salinidad o alteraciones del pH. El análisis económico determinó que la fertilización química complementada con *Trichoderma* spp. constituye la alternativa más conveniente, al combinar un elevado rendimiento forrajero con un mejor desempeño agronómico integral, representando una estrategia viable para fortalecer la producción sostenible de maíz destinado a forraje.

Palabras clave: Fertilización química, *Trichoderma*, *Bacillus*, diatomeas, crecimiento, producción.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

LA MANÁ EXTENSION CAMPUS

TITLE: EFFECT OF CHEMICAL FERTILIZATION COMBINED WITH BIOLOGICAL INPUTS ON THE GROWTH, YIELD, AND SOIL CHEMICAL PROPERTIES OF FORAGE MAIZE (*Zea mays* L.).

Author:
Campos Espinoza Priscila Katherine

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the effect of chemical fertilization combined with bioinputs (*Bacillus* spp., *Trichoderma* spp., and diatoms) on the growth, yield, soil chemical properties, and profitability of forage maize (*Zea mays* L.). The study was conducted using a Randomized Complete Block Design (RCBD) with five treatments and four replications: control, chemical fertilization, chemical fertilization + *Bacillus* spp., chemical fertilization + *Trichoderma* spp., and chemical fertilization + diatoms. Growth and yield variables, soil pH, electrical conductivity, and economic performance were evaluated. The results showed statistically significant differences in most growth variables, with chemical fertilization and its combination with *Trichoderma* spp. standing out, recording the greatest plant height (188.20 cm) and stem diameter (2.38 cm). Regarding yield, chemical fertilization and its combination with *Trichoderma* spp. achieved the highest forage yield, reaching 32100 kg ha^{-1}, equivalent to an increase of 68.9% compared with the control treatment (19000 kg ha^{-1}). Likewise, the treatment with *Trichoderma* spp. produced the largest ears, whereas the combination with diatoms resulted in the greatest total ear weight. Soil chemical properties remained within suitable ranges for crop development, with no evidence of salinity problems or significant pH alterations. The economic analysis determined that chemical fertilization supplemented with *Trichoderma* spp. was the most advantageous alternative, combining high forage yield with superior overall agronomic performance. Therefore, this treatment represents a viable strategy for strengthening the sustainable production of forage maize.

Keywords: Chemical fertilization, *Trichoderma*, *Bacillus*, diatoms, growth, yield.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN iii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN iv
AGRADECIMIENTO v
DEDICATORIA vi
RESUMEN vii
ABSTRACT viii
1. INFORMACIÓN GENERAL 1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO 4
4.1. Beneficiarios directos 4
4.2. Beneficiarios indirectos 4
5. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN 5
6. OBJETIVOS 6
6.1. Objetivo General 6
6.2. Objetivos Específicos 6
7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS 7
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA 8
8.1. El cultivo del maíz (*Zea mays L.*) 8
8.1.1. Maíz para forraje 9
8.1.2. Características agronómicas del maíz 9
8.2. Fertilidad del suelo 10
8.2.1. Fertilización del cultivo de maíz 11
8.3. Propiedades químicas del suelo 12
8.3.1. pH del suelo 12
8.3.2. Conductividad eléctrica 12
8.4. Bioinsumos en la agricultura 13
8.4.1. *Bacillus* spp. 13
8.4.2. *Trichoderma* spp. 13
8.4.3. Diatomeas 14
8.5. Fertilización química combinada con bioinsumos 14
8.6. Antecedentes de investigación 15
9. HIPÓTESIS ..... **¡Error! Marcador no definido.**

10. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 17
10.1. Ubicación y duración del ensayo 17
10.2. Tipo de investigación 17
10.2.1. Experimental 17
10.2.2. De campo 17
10.2.3. Descriptiva 17
10.2.4. Cuantitativa 17
10.3. Materiales y Equipos 18
10.4. Tratamientos del estudio 19
10.5. Esquema del experimento 19
10.6. Diseño experimental 19
10.7. Análisis de varianza 19
10.8. Manejo del ensayo 20
10.8.1. Análisis de suelo 20
10.8.2. Preparación del terreno y siembra 20
10.8.3. Aplicación de bioinsumos y fertilización convencional 20
10.8.4. Control de maleza 21
10.8.5. Control fitosanitario 21
10.8.6. Cosecha 21
10.9. Variables a evaluar 21
10.9.1. Altura de la planta 21
10.9.2. Diámetro de tallo 22
10.9.3. Número de hojas 22
10.9.4. Contenido de clorofila 22
10.9.5. Conductividad Eléctrica 22
10.9.6. pH del suelo 22
10.9.7. Inserción de la mazorca 22
10.9.8. Largo y ancho de la mazorca 23
10.9.9. Peso de la mazorca 23
10.9.10. Rendimiento forrajero 23
10.9.11. Análisis económico 23
11. RESULTADOS 25
11.1. Altura de planta 25
11.2. Diámetro del tallo 26
11.3. Número de hojas 27

11.4. Contenido de clorofila 28
11.5. pH del suelo 29
11.6. Conductividad eléctrica del suelo (CE) 30
11.7. Inserción de mazorca 31
11.8. Largo y ancho de la mazorca 32
11.9. Peso de la mazorca 33
11.10. Rendimiento forrajero 34
11.11. Análisis económico 35
12. IMPACTOS 36
12.1. Técnicos 36
12.2. Social 36
12.3. Económico 37
12.4. Ambiental 37
13. PRESUPUESTO 37
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 38
14.1. Conclusiones 38
14.2. Recomendaciones 39
15. BIBLIOGRAFÍA 40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados. 7
Tabla 2. Materiales y equipos 18
Tabla 3. Tratamientos de la fertilización 19
Tabla 4. Esquema del experimento 19
Tabla 5. Esquema de análisis de varianza 19
Tabla 6. Análisis económico en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje 36
Tabla 7. Presupuesto en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje 37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Altura de planta en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje. 26
Figura 2. Diámetro del tallo en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje. 27
Figura 3. Número de hojas en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje. 28
Figura 4. Contenido de clorofila en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje 29
Figura 5. pH del suelo en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje. 30
Figura 6. Conductividad Eléctrica (CE) del suelo en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje 31
Figura 7. Inserción de la mazorca en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje 32
Figura 8: Largo y ancho de la mazorca en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje 33
Figura 9. Peso de la mazorca en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje 34
Figura 10. Rendimiento forrajero en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje 35

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:	Efecto de la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays L.*) para forraje.
Fecha de inicio:	Abril 2026
Fecha de finalización:	Agosto 2026
Lugar de ejecución:	Centro Experimental la Playita, Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná
Facultad que auspicia:	Extensión La Maná
Carrera que auspicia:	Agronomía.
Proyecto vinculado a:	Fortalecimiento de la producción hortofrutícola con enfoque agroecológico en el cantón La Maná
Equipo de trabajo:	Campos Espinoza Priscila Katherine
Tutor:	Ing. Wellington Jean Pincay Ronquillo MSc.
Área de conocimiento:	Agricultura, Agronomía, Producción, Ecológica.
Línea de investigación:	Procesos tecnológicos, bioquímicos, biomateriales, desarrollo y seguridad alimentaria
Sub línea de investigación:	Tecnologías para la agricultura.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En Ecuador, la producción de maíz (*Zea mays* L.) representa una de las actividades agrícolas de más relevantes, debido a su importancia tanto en la alimentación humana como en la producción pecuaria. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), a través de la Encuesta de Superficie y Producción agropecuaria Continua (SPAC), la producción de maíz duro seco representa el 36.6 % de la superficie sembrada de cultivos transitorios a nivel nacional, lo que lo convierte en uno de los rubros agrícolas de mayor relevancia productiva (INEC, 2023).

Además, la importancia en la industria de balaceados y la alimentación humana, el maíz se encuentra estratégicamente posesionado dentro de los sistemas de producción pecuarios, por su potencial en la producción de biomasa. Aunque las estadísticas oficiales en el país no diferencian de forma específica la proporción que se destine a forraje, se sabe que este cultivo es ampliamente utilizado en la alimentación de animales, particularmente como forraje verde o ensilaje, gracias a su aporte nutricional y energético, así como su capacidad de adaptación a diversas condiciones medioambientales para su cultivar (Zambrano & Caviedes, 2022).

No obstante, la productividad del cultivo de maíz se encuentra estrechamente relacionada con el manejo de la fertilidad del suelo, siendo la fertilización química una de las prácticas más utilizadas para maximizar el rendimiento. Sin embargo, el uso continuo e intensivo de fertilizantes sintéticos puede generar efectos negativos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, afectando su sostenibilidad a largo plazo. En este contexto, los bioinsumos o enmiendas orgánicas han cobrado importancia como alternativas complementarias dentro de los sistemas de producción agrícola sostenible. Estos productos, que incluyen microorganismos benéficos como bacterias del género *Bacillus*, hongos como *Trichoderma* y materiales minerales como las diatomeas, no solo aportan nutrientes, sino que también mejoran la estructura del suelo, estimulan la actividad biológica y favorecen la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Su uso contribuye a mitigar problemas como la degradación, compactación y pérdida de fertilidad del suelo, promoviendo un desarrollo más equilibrado y eficiente de los cultivos (Sela, 2024).

Bajo este enfoque, surge la necesidad de evaluar estrategias integradas de manejo nutricional que combinen la fertilización química con el uso de bioinsumos, con el fin de optimizar el crecimiento y rendimiento del cultivo, así como mejorar las propiedades del suelo. Por ello, el

presente estudio se enfoca en analizar el efecto de la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el desarrollo del cultivo de maíz destinado a forraje, bajo condiciones experimentales, bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cinco tratamientos: testigo, fertilización química y fertilización química en combinación con consorcio microbiano (*Bacillus*), *Trichoderma* y diatomeas, donde se evaluarán variables de crecimiento como altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo y contenido de clorofila; variables de rendimiento relacionadas con la mazorca y producción de forraje; así como propiedades del suelo como pH y conductividad eléctrica. Además, se realizará un análisis económico para determinar la rentabilidad de cada tratamiento.

Los resultados permitirán generar información técnica sobre el uso de bioinsumos como complemento a la fertilización química, contribuyendo al manejo sostenible del cultivo de maíz en condiciones locales.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) representa uno de los pilares fundamentales de la producción agrícola en Ecuador, no solo por su importancia en la seguridad alimentaria, sino también por su aporte al sector pecuario, sector en el que se constituye como una fuente relevante de materia prima para la producción de balanceados y de biomasa destinada a la alimentación animal, contexto por el cual la producción de maíz forrajero adquiere interés especial, puesto que la disponibilidad de biomasa de calidad influye directamente en la eficiencia de los sistemas pecuarios (Velásquez & Araujo, 2021).

Sin embargo, la productividad del cultivo ha estado estrechamente vinculada a su manejo nutricional, práctica que se sustenta en el uso intensivo de fertilizantes químicos, lo que, si bien mejora los rendimientos a corto plazo, su empleo continuo e indiscriminado puede generar alteraciones en las propiedades del suelo, afectando a su potencial de hidrógeno (pH), la conductividad eléctrica (CE), afectando su fertilidad y sostenibilidad a largo plazo (Carreño *et al.*, 2019).

Frente a esta problemática, se requiere la implementación de estrategias de manejo más eficientes que permitan complementar la fertilización convencional y mantener la productividad sin comprometer la calidad del recurso suelo. Los bioinsumos, como bacterias del género *Bacillus*, hongos del género *Trichoderma* y materiales minerales como las

diatomeas, han cobrado importancia como alternativas complementarias a la fertilización química, puesto que en investigaciones reciente se ha evidenciado que estos favorecen la disponibilidad de nutrientes mediante procesos como la fijación biológica de nitrógeno y la solubilización de fósforo, además de mejorar la actividad microbiológica y las propiedades físico-químicas del suelo, contribuyendo a sistemas de producción más sostenibles (Banerjee *et al.,* 2023).

Por lo tanto, la presente investigación se enmarca en la necesidad de evaluar el efecto de la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en el cultivo de maíz para forraje, generando información técnica que permita optimizar el manejo nutricional del cultivo bajo condiciones locales, cuyos resultados generan información valiosa para identificar estrategias de manejo nutricional que fomenten la producción del cultivo, haciéndola más eficiente, rentable y sostenible, aportando significativamente al sector agrícola y pecuario de la zona.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1. Beneficiarios directos

Los beneficiarios directos son los agricultores y ganaderos, así como también los técnicos y extensionistas del cantón La Maná, quienes mediante esta investigación disponen de información técnica sobre el uso combinado de fertilización química y bioinsumos para favorecer el crecimiento y la producción forrajera del maíz. Además de la estudiante investigadora y el equipo técnico-docente de la UTC al generar los resultados experimentales que favorecen a la formación y perfil profesional, aportando evidencias científicas aplicables a nivel local.

4.2. Beneficiarios indirectos

Los beneficiarios indirectos son los estudiantes e investigadores de la carrera de agronomía de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, ya que los resultados del presente proyecto son un antecedente técnico y metodológico en el uso combinado de bioinsumos y fertilizantes químicos que permiten tener información previa a futuras investigaciones. De igual manera se considera como beneficiario indirecto al sector pecuario del cantón puesto que el aumento de la producción de biomasa forrajera, se contribuirá a mejorar la disponibilidad de alimento para el ganado.

5. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

A nivel mundial, la intensificación de la actividad agrícola ha generado una creciente preocupación debido al uso indiscriminado de insumos químicos, particularmente fertilizantes y plaguicidas aplicados sin criterios técnicos adecuados. Esta práctica, impulsada por la necesidad de incrementar la producción de alimentos frente al crecimiento poblacional, ha provocado impactos negativos en los ecosistemas agrícolas, como la contaminación del suelo, agua y aire, así como la pérdida de biodiversidad y el deterioro de los recursos naturales. Además, el modelo basado en monocultivos y alta dependencia de insumos sintéticos ha contribuido a la degradación progresiva de los suelos y a la disminución de su capacidad productiva a largo plazo (Castillo *et al.*, 2020).

En el contexto nacional, Ecuador no es ajeno a esta problemática, considerando que la agricultura constituye una de las principales actividades económicas del país. El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) destaca por su importancia en la seguridad alimentaria y su rol fundamental en la industria de alimentos balanceados como materia prima, además de su utilización como forraje en la producción pecuaria. Sin embargo, el incremento en la producción ha estado acompañado de un uso intensivo de fertilizantes químicos, muchas veces sin el debido asesoramiento técnico, lo que ha generado efectos adversos tanto en la salud humana como en el ambiente. Factores como la sobredosificación, el manejo inadecuado de los insumos, la falta de capacitación y el débil control en su uso han contribuido al deterioro de las propiedades del suelo y a la contaminación de los recursos naturales (Naranjo, 2017; Corro, 2021).

A nivel local, en el cantón La Maná, el cultivo de maíz simboliza una alternativa productiva importante, particularmente para pequeños y medianos productores, ya que no solo se suele destinar a la producción de grano, sino que también se emplea como forraje para la alimentación de animales. Sin embargo, suele predominar el sistema convencional de manejo especialmente en la fertilización con predominio del uso de fertilizantes químicos, sin la información técnica suficiente para su uso correcto.

Pese a la existencia de alternativas biológicas modernas que mejoran la efectividad de los nutrientes del suelo o de los aportados a este en el proceso de fertilización como *Trichoderma, Bacillus* o diatomeas, no existen evidencias experimentales en las condiciones agroecológicas locales que permitan establecer si el uso de estas conjuntamente con una correcta fertilización

pueda mejorar el crecimiento del cultivo, aumentando su rendimiento y la producción de forraje.

En este sentido, surge entonces la necesidad de evaluar el efecto de la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en el cultivo de maíz para forraje, como una estrategia que permita optimizar la productividad agrícola y contribuir a la sostenibilidad de los sistemas productivos en condiciones locales.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y calidad del suelo en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) para forraje.

6.2. Objetivos Específicos

- Analizar el efecto de la fertilización química combinada con bioinsumos (*Bacillus, Trichoderma* y diatomea) sobre el crecimiento del cultivo de maíz.
- Evaluar el efecto de la fertilización química combinada con bioinsumos (*Bacillus, Trichoderma* y diatomea) sobre el rendimiento del cultivo de maíz para forraje.
- Analizar el efecto de la fertilización química combinada con bioinsumos (*Bacillus, Trichoderma* y diatomea) en las propiedades del suelo, pH y conductividad eléctrica.
- Realizar un análisis económico de los tratamientos evaluados, con el fin de determinar la rentabilidad de la aplicación de fertilización química combinada con bioinsumos en el cultivo de maíz.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas en relación con los objetivos planteados.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES PRINCIPALES	RESULTADOS ESPERADOS	MÉTODO DE VERIFICACIÓN
Analizar el efecto de la fertilización química combinada con bioinsumos (*Bacillus, Trichoderma* y diatomea) sobre el crecimiento del cultivo de maíz	*Aplicación de biofertilizantes alternativos y de fertilización convencional en el cultivo de maíz *Registro de variables agronómicas	*Registro de variables como: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, largo y ancho de la mazorca.	Libro de campo Fotografías
Analizar el efecto de la fertilización química combinada con bioinsumos (*Bacillus, Trichoderma* y diatomea) en las propiedades del suelo, pH y conductividad eléctrica.	*Toma de muestras de cada unidad experimental *Análisis de laboratorio	*Registro de variables entorno al pH y CE	Libro de campo Fotografías
Evaluar el efecto de la fertilización química combinada con bioinsumos (*Bacillus, Trichoderma* y diatomea) sobre el rendimiento del cultivo de maíz para forraje	*Registro de variables entorno a los rendimientos del maíz para forraje	*Toma de variables como: rendimiento de forraje (kg ha^{-1}).	Libro de campo Fotografías
Realizar un análisis económico de los tratamientos evaluados, con el fin de determinar la rentabilidad de la aplicación de fertilización química combinada con bioinsumos en el cultivo de maíz	*Análisis beneficio/costo de los tratamientos establecidos en el estudio	*Análisis de costos *Rendimiento *Costos de producción	Excel Análisis económico

Elaborado por: Campos, P. (2026)

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1.El cultivo del maíz (*Zea mays L.*)

El maíz es considerado como uno de los cereales de mayor importancia a nivel mundial, gracias a su capacidad para adaptarse a diversas condiciones agroecológicas, además de poseer un elevado potencial de producción, así como también por su uso en la alimentación humana, animal y la industria. Botánicamente, este cultivo se encuentra dentro de la familia Poaceae, destacado por su característica metabólica fotosintética C4, lo cual le permite aprovechar de mejor manera la radiación solar, lo que se traduce en una elevada producción, sobre todo de biomasa en comparación con los demás cereales de importancia (Ruilova, 2023).

Este cultivo no solo se destaca por su importancia mundial en la industria y alimentación humana, sino que, además, se constituye como uno de los principales cultivos estratégicos que sostienen al sector pecuario, puesto que una parte importante de su producción es destinada a la elaboración de alimentos balanceados, así como también a la producción de forraje, por lo que su importancia económica no solo se basa en el volumen producido, sino que también en la extensa cadena agroindustrial asociada a este cereal (Sanfo *et al.*, 2023).

En Ecuador, el maíz se ha convertido en uno de los cultivos transitorios de mayor importancia dentro del sector agrícola. De acuerdo con el INEC (2023), en su encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, el maíz seco duro representó el 36.6% (344272 Ha^{-1}) de cultivos transitorios sembrados para el año 2023 en todo el territorio nacional, lo cual lo consolida como unos de los rubros agrícolas más importante. En las regiones de la Costa y Amazonia el cultivo de maíz predominante es el amarillo duro, híbridos de alto rendimiento principalmente, mientras que en la región Sierra predominan las variedades de libre polinización y de grano harinoso y suave (Zambrano & Caviedes, 2022).

Por otra parte, la creciente demanda de maíz en los últimos años ha impulsado al desarrollo de tecnologías orientadas al aumento de su productividad, entre las que destacan el uso de semillas mejoradas, una fertilización intensiva y en general prácticas de manejo de cultivo cada vez más especializadas. No obstante, aumentar la productividad de maíz, genera preocupación debido a los impactos en su mayoría negativos por prácticas no adecuadas, especialmente el uso excesivo de fertilizantes químicos, que causan alteraciones en las propiedades de los suelos y la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícolas (Carreño *et al.*, 2019)

8.1.1. Maíz para forraje

El maíz que se destina para forraje representa una alternativa importante para los sistemas de producción pecuarios, gracias a su capacidad productiva de biomasa y alto contenido energético, además de una buena palatabilidad para el ganado. Este puede aprovecharse en estado fresco, así como mediante ensilaje, lo que permite tener disponibilidad de alimento durante las épocas de escasez de forraje (Villón, 2019).

A diferencia del maíz destinado a la producción de grano, como ya se ha mencionado, tiene su valor en su capacidad para producir materia verde en grandes cantidades por unidad de superficie, la cual está directamente relacionada con su eficiencia fotosintética y con su rápido crecimiento vegetativo, por lo que variables como: altura de planta, diámetro del tallo, desarrollo foliar y contenido de clorofila, están estrechamente ligadas al rendimiento forrajero y con su calidad nutricional en términos de alimento para animales (Souza *et al.*, 2025)

Para la producción de biomasa, el maíz se encuentra limitado por diversos factores como: las condiciones edafoclimáticas de la zona de producción, la disponibilidad de recursos hídricos, la fertilidad del suelo y particularmente el manejo nutricional que se le dé al cultivo. Múltiples estudios demuestran que una adecuada nutrición del cultivo aumenta su productividad de forraje, especialmente cuando se proporcionan los nutrientes de manera correcta, es así que una adecuada proporción de nitrógeno influirá significativamente en la acumulación de materia seca y la producción de biomasa, mejorando así el rendimiento de forraje (Du *et al.*, 2008 y Liimatainen *et al.* 2022).

Pese a todo lo señalado, cabe mencionar que actualmente en Ecuador se carece de datos oficiales sobre la producción de maíz forraje, sin embargo, este cultivo juega un papel fundamental en la alimentación de animales de diversos sistemas de producción pecuarios de la Costa y zonas tropicales del país.

8.1.2. Características agronómicas del maíz

La planta de maíz posee características morfológicas y fisiológicas que permiten alcanzar niveles altos de producción con las condiciones adecuadas y manejo agronómico. Su sistema radicular fasciculado facilita la absorción de agua y nutrientes, potenciando el crecimiento rápido desarrollando una amplia área foliar y aumentando la producción de biomasa (Hammer, 2019)

La altura por su parte, se considera un indicador de vigor vegetativo y también de la respuesta del cultivo al manejo que se realiza, particularmente en la nutrición del maíz. Un crecimiento adecuado de la planta normalmente se asocia a una mayor capacidad de fotosíntesis y por ende a una considerable acumulación de biomasa (Li *et al.*, 2023).

En cuanto al tallo, el diámetro representa una característica de gran relevancia porque se relaciona directamente con la resistencia mecánica de la planta, así como con el transporte de agua y de nutrientes. El tallo con mejor desarrollo beneficia a la estabilidad y estructura de la planta, reduciendo el riesgo de acame en el cultivo (Vallejo, 2024).

Por otra parte, un indicador fisiológico que se asocia de manera directa al estado nutricional de la planta es la clorofila, especialmente con lo relacionado al nitrógeno. Generalmente cuando existen valores altos de clorofila en los tejidos vegetales se expresa una alta actividad fotosintética y, por ende, un adecuado desarrollo vegetativo (Taiz *et al.*, 2018), sobre todo cuando se habla de producción de forraje.

La característica de la mazorca de maíz, como largo, diámetro, número de hileras y de granos entre otros, también constituyen indicadores considerados como importantes para el potencial de producción del cultivo. Pese a que en el maíz forrajero principalmente interesa la producción de biomasa, estas características influyen en la calidad nutricional del material vegetal producido por la planta (Velásquez & Araujo, 2021).

8.2.Fertilidad del suelo

La fertilidad del suelo se la define como la capacidad que tiene el suelo para poder proporcionar nutrientes esenciales en las cantidades apropiadas y disponibles para el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Brady & Weil, 2017).

Para cultivos forrajeros como el maíz, la fertilidad del suelo se encuentra entre los factores de mayor importancia para alcanzar rendimientos muy altos y una producción de biomasa adecuada, puesto que la disponibilidad de nutrientes tiene influencia directa sobre procesos fisiológicos relacionados con la generación y desarrollo de tejidos, síntesis de clorofila, desarrollo radicular y acumulación de materia seca (García *et al.*, 2021).

Sin embargo, las prácticas agrícolas intensivas, sumado al uso continuo de fertilizantes sintéticos generan alteraciones en las propiedades químicas del suelo, afectando su equilibrio nutricional y reduciendo de manera progresiva su calidad, principalmente efectos asociados a la acidificación, acumulación de sales y a la disminución de la actividad microbiológica del suelo (Li et al., 2023).

En este marco, actualmente existe el interés por desarrollar estrategias de manejo que permitan mejorar y mantener la productividad agrícola, al mismo tiempo que permitan conservar la fertilidad y sostenibilidad del suelo a largo plazo.

8.2.1. Fertilización del cultivo de maíz

En la fertilización del cultivo de maíz, el uso de fertilizantes químicos constituye la principal práctica agronómica para mejorar su productividad, cuya finalidad es aportar los nutrientes esenciales que la planta requiere para su crecimiento, desarrollo y producción de grano o de biomasa cuando se emplea como forraje (García *et al.*, 2021).

Entre los nutrientes esenciales para el maíz, especialmente con fines de forraje, el nitrógeno se considera como elemento de mayor importancia, por su participación en procesos fisiológicos como la síntesis de proteína, aminoácidos y clorofila, razón por la cual su disponibilidad tiene influencia directa en el crecimiento vegetativo y el desarrollo foliar de la planta (Taiz *et al.*, 2018).

Otro nutriente esencial es el fósforo, el cual participa en diversos procesos que se relacionan con la transferencia de energía, formación de ATP y el desarrollo radicular, lo que lo convierte en un elemento fundamental durante las primeras etapas de desarrollo del cultivo, además de favorecer la división celular y de su contribución al desarrollo productivo de la planta (Brady & Weil, 2017).

Por su parte, el potasio efectúa funciones que son esenciales en la regulación osmótica, la activación enzimática y el traslado de los carbohidratos en el interior de la planta. Este nutriente además participa en el cierre y apertura de los estomas, mejorando el uso del agua y volviéndolo eficiente, aumentando la tolerancia de la planta a condiciones adversas de estrés hídrico, así mismo, este elemento aporta al fortalecimiento de la estructura de los tejidos vegetales, favoreciendo la acumulación de materia seca y de biomasa en cultivos como el maíz destinado a forraje (Marschner, 2012).

Sin embargo y pese a todos los beneficios que se asocian a la fertilización mineral, múltiples estudios han demostrado que el empleo de fertilizantes químicos de forma indiscriminada y excesiva provoca la degradación del suelo, particularmente alterando sus propiedades químicas, especialmente el pH o la conductividad eléctrica, afectando la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola (Li *et al.*, 2023).

8.3.Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo figuran como indicadores fundamentales en la valoración de la calidad y la capacidad productiva de los sistemas edáficos, puesto que permiten determinar la disponibilidad de nutrientes, además de regular procesos biológicos y de condicionar el desarrollo de los cultivos (Brady & Weil, 2017).

Entre las principales propiedades químicas dentro de un sistema de producción agrícola se destacan el pH y la conductividad eléctrica, debido a que ambas permiten valorar cambios ligados al manejo agronómico del cultivo y al uso de fertilizantes.

8.3.1. pH del suelo

El pH del suelo simboliza el nivel de acidez o alcalinidad presente en el sistema edáfico, por lo que se constituye como una propiedad química fundamental, gracias a la influencia que posee sobre la disponibilidad de nutrientes y de la actividad microbiológica (Brady & Weil, 2017).

Particularmente, para cultivos como el maíz, los valores altos de pH de suelo tienden a limitar la absorción de algunos nutrientes esenciales como el fósforo, calcio, magnesio y los micronutrientes, repercutiendo negativamente en el crecimiento y la producción (Taiz *et al.*, 2018).

Las aplicaciones continuas y, en la mayoría de los casos excesivas de fertilizantes, especialmente los nitrogenados tienden a modificar gradualmente al pH del suelo, provocando procesos de acidificación que generalmente alteran el equilibrio químico, afectando a la fertilidad del sistema agrícola. (Li *et al.*, 2023).

8.3.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es una propiedad que permite determinar la concentración de sales solubles que están presentes en el suelo. Esta propiedad normalmente se relaciona con la disponibilidad de nutrientes, así como también con la de sales que se derivan del manejo de la fertilización de los cultivos (Brady & Weil, 2017).

Los valores altos de conductividad eléctrica suelen afectar al potencial osmótico del suelo, limitando la absorción de agua y nutrientes por parte de las raíces de la planta. En sistemas de producción agrícolas intensivos sometidos a fertilizaciones excesivas, se puede provocar

acumulación de sales que pueden afectar negativamente al equilibrio químico del suelo, teniendo como resultado un mal desarrollo vegetativo (Brady & Weil, 2017).

8.4.Bioinsumos en la agricultura

Los bioinsumos son productos de origen biológico empleados en la agricultura para mejorar las condiciones nutricionales de los cultivos, estimular su crecimiento y potenciar la actividad microbiológica del suelo. Estos productos en la actualidad son de gran importancia en la agricultura sostenible, por su capacidad de potenciar la fertilización convencional promoviendo un uso más adecuado de los insumos sintéticos (Banerjee *et al.*, 2023).

Los bioinsumos además tienen la capacidad de favorecer a ciertos procesos relacionados con la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, con la mejora de las propiedades biológicas del suelo y con la producción de fitohormonas, lo cual ha sido evidenciado en múltiples investigaciones evidenciando efectos favorables en el desarrollo y crecimiento, así como en el rendimiento de diversos cultivos agrícolas, sobre todo cuando se utilizan como complemento a la fertilización mineral (Pérez-Luna & Álvarez, 2021).

8.4.1. *Bacillus* spp.

Las bacterias del género *bacillus* son microorganismos con una utilización muy amplia en la agricultura moderna, gracias a su capacidad para impulsar el crecimiento vegetal a través de diversos mecanismos biológicos, destacan entre sus principales funciones la solubilización del fósforo, la fijación de nitrógeno y la producción de fitohormonas (Sangoquiza *et al.*, 2021).

En cultivos como el caso de maíz, la implementación de *Bacillus* spp. ha tenido resultados positivos en el crecimiento de la planta, el desarrollo de raíces y acumulación de biomasa. Además, su uso en combinación de fertilizantes químicos es capaz de potenciar la absorción de los nutrientes y favorecer al desarrollo fisiológico del cultivo (Zambrano *et al.*, 2023).

8.4.2. *Trichoderma* spp.

Trichoderma forma parte de un grupo de hongos benéficos con amplia utilización en la agricultura en la actualidad, por la capacidad que tienen para colonizar la rizósfera, así como para estimular el crecimiento vegetal, estos microorganismos además potencian el desarrollo radicular y fomentan la absorción de nutrientes (Borja y Rocano, 2022).

Diversos estudios han comprobado que el empleo de *Trichoderma* en cultivares de maíz incrementa la altura de planta, la concentración de clorofila en los tejidos verdes y promueve su vigor, particularmente cuando se aplican combinados con fertilización sintética (Martínez et al., 2018). Por otra parte, este microorganismo tiene la capacidad de mejorar las propiedades biológicas del suelo, por lo que representa una alternativa sostenible en las estrategias de manejo de cultivo (Harman *et al.*, 2004).

8.4.3. Diatomeas

Las diatomeas son un material mineral cuyo origen es silíceo, estructurados por restos fosilizados de algas microscópicas, que poseen propiedades que contribuyen a la mejora de las características físicas y químicas del suelo (Vallejo, 2024).

En los procesos de producción agrícola, las diatomeas son empleadas como acondicionadores del suelo y como complemento nutricional por su capacidad de favorecer la retención de agua y aportar silicio al cultivo (Arevalo, 2018).

El silicio favoreces la estructura celular de las plantas, potencia la tolerancia a condiciones adversas, así como también al crecimiento vegetativo del cultivo (Epstein, 1999). Sin embargo, los efectos de las diatomeas dependen directamente de las condiciones del suelo y del manejo agronómico del cultivo, como se ha demostrado en algunos estudios (Gómez & Rodríguez, 2021).

8.5.Fertilización química combinada con bioinsumos

El desarrollo de estrategias de fertilización integrada que combinan fertilizantes convencionales con bioinsumos ha aumentado en los últimos años. Este enfoque busca poder aprovechar la rápida disponibilidad de nutrientes que proporcionan los fertilizantes minerales y al mismo tiempo poder estimular los procesos biológicos que potencien la eficiencia en su utilización para mejorar el desarrollo del cultivo (Zambrano *et al.*, 2023).

La combinación de estos productos puede contribuir al desarrollo vegetativo, a la acumulación de biomasa, así como a un mejor aprovechamiento de los nutrientes por parte del cultivo de maíz (Banerjee *et al.*, 2023). La fertilización integrada representa una alternativa orientada al mejoramiento de la productividad agrícola y a promover sistemas de producción más sostenibles, reduciendo los efectos negativos asociados al uso excesivo de fertilizantes sintéticos.

8.6.Antecedentes de investigación

Poveda y Eugui (2022), en la publicación de revisión científica *"Combined use of Trichoderma and beneficial bacteria (mainly Bacillus and Pseudomonas): Development of microbial synergistic bio-inoculants in sustainable agriculture"*, analizaron diversas investigaciones relacionadas con la inoculación de *Trichoderma* y *Bacillus* en diferentes cultivos agrícolas, lo que les permitió reportar que la aplicación combinada de estos microorganismos mejora considerablemente el crecimiento vegetal, la absorción de nutrientes y la producción de los cultivos, sobre todo cuando son utilizados como complemento de programas de fertilización convencional.

Agurto (2024), en el trabajo de investigación denominado *"Efectividad de la tierra de diatomeas como coadyuvante en aplicaciones foliares de agroquímicos en maíz"*, analizó el comportamiento agronómico del cultivo como respuesta a la aplicación de diatomeas complementadas con manejo de fertilización convencional, evidenciándose como resultados principales la mejora del vigor vegetativo y respuesta fisiológica del cultivo, concluyendo que las diatomeas pueden aportar a la mejora de las condiciones del suelo y al aprovechamiento eficiente de nutrientes, especialmente cuando son integradas dentro del manejo agronómico del cultivo.

Canizalez-Silva *et al.* (2024), en el ensayo de investigación denominado *"Microorganismos en la biofertilización del cultivo de maíz como complemento a la fertilización química"*, evidenciaron que la aplicación de microorganismos potenciadores del crecimiento vegetal junto con fertilización química, incrementa la eficiencia nutricional, además de mejorar la producción de biomasa y fortalecer las propiedades químicas del suelo, concluyendo que este tipo de manejo integrado representa una estrategia sostenible para la producción agrícola actualmente.

Saldaña-Morales *et al.* (2026), en el estudio del efecto biofertilizante de *Trichoderma spp. y Bacillus spp.* endófitos de café sobre el cultivo de maíz, valoraron el comportamiento agronómico del maíz bajo tratamientos que combinaban microorganismos benéficos con fertilización convencional química. Los resultados presentaron aumentos significativos en variables como: altura de planta, biomasa y rendimiento del cultivo cuando se aplicaron *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. combinados con fertilizantes químicos, así mismo, los autores establecieron que la utilización de estos bioinsumos permitió reducir hasta en un 50 % las dosis de fertilizantes convencionales sin repercutir en la producción del cultivo.

Villagrana-Soto *et al.* (2026), en el estudio de biofertilizantes en la producción de maíz *(Zea mays L.)* de riego en dos condiciones de fertilización, probaron diferentes biofertilizantes en combinación con fertilización química en maíz bajo condiciones de riego. Los autores destacaron con base a sus resultados que la interacción entre microorganismos benéficos *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* y *Serendipita indica* y fertilización mineral mejoró el rendimiento y el aprovechamiento de nutrientes por parte del cultivo, permitiendo una reducción de hasta un 30% de los fertilizantes químicos en la producción del cultivo. Asimismo, concluyeron que la combinación de biofertilizantes representa una estrategia viable para mejorar la sostenibilidad agrícola y disminuir costos de producción, particularmente los asociados a fertilizantes químicos.

Martínez *et al.* (2018), en la investigación de biofertilización y fertilización química en maíz *(Zea mays L.)* en Villaflores, Chiapas, México, evaluaron el efecto de biofertilizantes combinados con diferentes dosis de fertilización química sobre el rendimiento del cultivo de maíz, bajo un diseño de bloques al azar con nueve tratamientos y cuatro repeticiones, empleando microorganismos benéficos como *Azospirillum brasilense* y *Chromobacterium violaceum* en combinación con fórmulas químicas NPK, evidenciaron incrementos significativos en rendimiento y productividad del cultivo cuando se emplearon una combinación de biofertilizantes con la fertilización química, permitiéndoles concluir que la integración de estos compuestos mejora la eficiencia nutricional del cultivo y por ende se produce un aumento del rendimiento del maíz.

9. HIPÓTESIS

Ho: La aplicación de fertilización química combinada con bioinsumos no produce efecto en el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) para forraje.

Ha: La aplicación de fertilización química combinada con bioinsumos produce un efecto en el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) para forraje.

10. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

10.1. Ubicación y duración del ensayo

El presente trabajo de investigación se estableció durante el ciclo académico abril – agosto 2026, en el Centro Experimental La Playita de la Universidad Técnica de Cotopaxi en la Extensión La Maná, ubicado en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, con las coordenadas geográficas WGS 84: Latitud S 0° 56′ 27`` Longitud W 79° 13` 25`` y altura de 120 m.s.n.m., sector que posee condiciones edafoclimáticas adecuadas para que el cultivo de maíz forrajero se desarrolle apropiadamente.

10.2. Tipo de investigación

10.2.1. Experimental

La investigación fue de tipo experimental porque los datos se obtuvieron mediante un experimento de campo y posteriormente comparados con el fin de determinar los fenómenos que se presentaron en la evaluación del comportamiento del cultivo de maíz forrajero, con la aplicación de biofertilizantes y fertilización convencional.

10.2.2. De campo

Además, la presente investigación fue de campo, puesto que el estudio fue desarrollado en condiciones reales de cultivo, analizando las variables directamente en las parcelas experimentales como parte de un ensayo de campo, obteniendo así la información directamente en el sitio de estudio

10.2.3. Descriptiva

La investigación también fue de tipo descriptiva porque se utilizaron técnicas de observación y de recopilación de datos de campo, para cada uno de los tratamientos estudiados, que permitieron determinar los efectos de los bioinsumos combinados con la fertilización química y explicar la relación causa-efecto con base a los resultados obtenidos

10.2.4. Cuantitativa

También fue cuantitativa puesto que se recolectaron datos de variables como rendimiento del forraje, altura de planta (cm), diámetro del tallo (mm), número de hojas, largo y ancho de la

mazorca (cm), número de granos por hilera, número de hilera por mazorca, número total de granos por mazorca y rendimiento de forraje (kg ha^{-1}) para posteriormente aplicar un análisis estadístico y comparar los tratamientos entre sí.

10.3. Materiales y Equipos

A continuación, se detallan los materiales y equipos principales empleados en la presente investigación.

Tabla 2. Materiales y equipos

Materiales y equipos	Cantidad	Unidad
Análisis de suelo	1	ud
Semillas de maíz, híbrida	2	Kg
Diatomeas	0.6	Kg
Trichoderma	0.06	Kg
Bacillus	0.3	Kg
Muriato de potasio granulado	3	Kg
Urea	2	Kg
Green master	150	ml
Evergreen	150	ml
Azoxystrobin + Tebuconazole	50	ml
Deltamethrin	30	ml
Fertilizante 10-30-10	2	Kg
Bomba	20	Lt
Balanza	1	ud
Cintas métricas	1	ud
Calibrador vernier	1	ud
machete	2	ud
azadón	1	ud
Piola	1	ud
Conductivímetro	1	ud
pH-metro	1	ud
Medidor SPAD	1	ud

Elaborado por: Campos P, (2026)

10.4. Tratamientos del estudio

Tabla 3. Tratamientos de la fertilización

Tratamientos	Descripción
T0	Testigo
T1	Fertilización química
T2	Fertilización química + *Bacillus*
T3	Fertilización química + *Trichoderma*
T4	Fertilización química + Diatomeas

Elaborado por: Campos P, (2026)

10.5. Esquema del experimento

Tabla 4. Esquema del experimento

Tratamientos	Repeticiones	Plantas/Unidad Experimental	Total
T0 Testigo	5	84	420
T1 Fertilización química	5	84	420
T2 Fertilización química + *Bacillus*	5	84	420
T3 Fertilización química + *Trichoderma*	5	84	420
T4 Fertilización química + diatomeas	5	84	420
Total			**2100**

Elaborado por: Campos P, (2026)

10.6. Diseño experimental

Para la presente investigación se estableció un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), conformado por 5 tratamientos y 5 repeticiones.

10.7. Análisis de varianza

Tabla 5. Esquema de análisis de varianza

Fuente de variación		Grados de libertad
Repeticiones	(r-1)	4
Tratamientos	(t-1)	4
Error	(r-1) (t-1)	16
TOTAL		**24**

Elaborado por: Campos P, (2026)

10.8. Manejo del ensayo

10.8.1. Análisis de suelo

La muestra se tomó antes de la siembra, para lo cual se extrajo a una profundidad de 0 a 20 cm, considerando la capa arable suelo como referencia, empleando un barreno. En todo el ensayo se tomó 20 submuestras, considerando una por cada parcela o unidad experimental, posteriormente se procedió a mezclarlas en un balde plástico limpio al fin de tener una muestra compuesta. Finalmente, se pesó 1 Kg de esa muestra compuesta, y se envió a los laboratorios de INIAP en la Estación Experimental "Pichelingue".

10.8.2. Preparación del terreno y siembra

Se inició con la limpieza y posterior medición para establecer la distribución de las parcelas experimentales, la cuales tenían las dimensiones: 4.50 metros de largo y 3.20 metros de ancho, posteriormente se efectuó el volteo del terreno a fin de mejorar sus condiciones para una adecuada germinación y desarrollo radicular. La siembra se realizó a una profundidad de 3 cm, con una distancia de 80 cm entre hileras y 20 cm entre plantas, considerando las recomendaciones técnicas para el material empleando de 65000 plantas por hectárea.

10.8.3. Aplicación de bioinsumos y fertilización convencional

Las aplicaciones de los bioinsumos y de la fertilización química se realizaron en tres momentos: la primera al momento de la siembra, la segunda a los 15 días posteriores y la tercera a los 30 días después de la siembra. Las dosis aplicadas por cada 20 litros de agua de los biofetilizantes fueron las siguientes: diatomeas 200 g, *Trichoderma* 20 g y *Bacillus* 100 g.

Para la fertilización se empleó los resultados un análisis del suelo y siguiendo la recomendación de García (2025) citado por Salguero (2026) quien establece que para producir una tonelada de maíz se requiere 22 kg de nitrógeno (N), 4 kg de fosforo (P_2O_5) y 19 kg de potasio (K_2O) para el cálculo de los fertilizantes se consideró una producción máxima proyectada de 7 t ha^{-1}, en consecuencia se aplicación 93.33 kg ha^{-1} de fertilizante 10-30-10, 314.49 kg ha^{-1} de urea y 206 kg ha^{-1} de muriato de potasio. Durante el desarrollo de la investigación se emplearon además Green Master y Evergreen en dosis de 50 ml por 20 L de agua cada uno.

10.8.4. Control de maleza

El control de maleza se lo realizó de manera manual, para ello se utilizó machetes, teniendo cuidado de no causar daños a ninguna planta, este mantenimiento fue realizado según el crecimiento de la maleza, cuando las malezas tenían más 5 cm de altura para evitar competencia por espacio y nutrientes.

10.8.5. Control fitosanitario

Una vez establecido el cultivo se realizaron monitoreos constantes con la finalidad de observar la incidencia de alguna plaga o enfermedad que pueda afectar al cultivo, razón por la que efectuó una aplicación preventiva (15 % de afectación al momento del monitoreo) a los 30 días posteriores a la siembra de conformidad con los principios del manejo integrado de plagas (MIP), empleando un fungicida con ingrediente activo Azoxystrobin + Tebuconazole en dosis de 50 ml por bomba de 20 L de agua y un insecticida de ingrediente activo Deltamethrin en dosis 30 ml por bomba de 20 L de agua. Dicha aplicación se efectuó en la parte aérea de las plantas a fin no influenciar de manera negativa sobre los bioinsumos de *Bacillus* y *Thicoderna* aplicados al suelo, evitando así una posible interacción de los productos fitosanitarios sobre su actividad biológica.

10.8.6. Cosecha

La cosecha se efectuó a los 75 días posteriores a la siembra, gracias a que se considera que en esta etapa la planta de maíz presenta un desarrollo vegetativo avanzado y una formación de mazorca adecuada para el forraje, considerando lo señalado por la FAO (2001), quien establece que el maíz destinado a forraje se debe cosecharse cuando este alcance su estado de máximo rendimiento de materia verde y valor nutritivo, evitando cosechas tempranas o demasiado tardías.

10.9. Variables a evaluar

10.9.1. Altura de la planta

Para la toma de esta variable se realizó a los 15, 30, 45 y 60 días después de la siembra, para lo cual empleó un flexómetro midiendo desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja más alta, en cinco plantas seleccionadas al azar por parcela, registrando los datos en centímetros.

10.9.2. Diámetro de tallo

Para la toma del diámetro se utilizó un calibrador o vernier, mismo que fue situado entre el primer y segundo nudo del tallo desde la base del suelo, de las cinco plantas seleccionadas por parcela, las mediciones fueron tomadas a los 15, 30, 45 y 60 días después de la siembra.

10.9.3. Número de hojas

En el caso del número de hojas se contó manualmente las hojas que se encontraban completamente desarrolladas en las plantas seleccionadas para la medición del área foliar, la evaluación se realizó a los 60 días después de la siembra.

10.9.4. Contenido de clorofila

El contenido de clorofila se estableció con la ayuda de un medidor portátil de unidades SPAD, a los 15, 30, 45 y 60 después de la siembra, en la tercera hoja de la planta de maíz contada desde la parte superior hacia abajo en 5 plantas seleccionada al azar en cada una de las parcelas o unidades experimentales.

10.9.5. Conductividad Eléctrica

Para determinar la conductividad se utilizó un conductímetro eléctrico, esto se tomó de manera aleatoria en cada una de las parcelas experimentales, los datos fueron expresados $\mu S\ cm^{-1}$.

10.9.6. pH del suelo

El pH del suelo de cada una de las parcelas experimentales, se registró con la ayuda de un pH-metro digital, para cual se procedió a extraer la muestra de suelo a una profundidad de 20 cm con un barreno, posteriormente se pesó 200 g y se preparó una mezcla de cada muestra con agua destilada y procedió al registro de la variable.

10.9.7. Inserción de la mazorca

Para la toma de inserción de la mazorca se medió desde el nivel del suelo hasta donde se ubica la mazorca en el tallo de la planta de maíz, la evaluación se realizó a los 70 días después de la siembra.

10.9.8. Largo y ancho de la mazorca

Se medió el largo con cinta métrica y el ancho con calibrador en cinco mazorcas totalmente formadas por cada parcela experimental, seleccionadas al momento de la cosecha forrajera a los 70 días después de la siembra.

10.9.9. Peso de la mazorca

El peso de la mazorca se efectuó en las mismas cinco mazorcas seleccionada para medir sus dimensiones de largo y ancho, para cual se establecieron los gramos de cada una de estas en tres mediciones, peso de la mazorca sin espatas, peso de las espatas y peso total de la mazorca.

10.9.10. Rendimiento de forraje (kg ha^{-1})

Se estableció con base a la cantidad de biomasa aérea cosechada por metro cuadrado de superficie sembrada de cada parcela experimental, para posteriormente extrapolarlo a producción por hectárea con la aplicación de la fórmula empleada por Zaragoza *et al.* (2021).

$$IAF = \frac{Peso\ del\ forraje\ de\ la\ muestra\ (kg)}{Área\ de\ la\ muestra\ (m^2)} x\ \mathbf{10000}$$

10.9.11. Análisis económico

El análisis económico se basó en la metodología Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 1988). Para establecer los ingresos y beneficios obtenidos de cada uno de los tratamientos en estudio se consideró el precio actual que tiene el maíz para forraje en el mercado, por lo cual se estimó los rubros: ingreso o beneficio bruto por tratamiento, para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$BB = Y * PY$$

Donde:

BB: Ingreso o beneficio bruto

Y: Producto

PY: Precio del producto

Costos totales por tratamiento (CT)

Para el cálculo de los costos totales se consideró la suma de cada uno de los valores invertidos para el desarrollo de las diferentes actividades e insumos que fueron empleados.

Beneficio neto (B/N)

Se establece mediante la diferencia entre los ingresos brutos y los costos totales de cada tratamiento, esto se realiza con la siguiente fórmula:

$$BN = IB - CT$$

Donde:

BN: Beneficio neto
IB: Ingreso bruto
CT: Costos totales

Relación costo beneficio (C/B)

Se estableció mediante la división de los beneficios para el costo de producción, empleando la siguiente fórmula:

$$C/B = BB/CT$$

Donde:

BB: Ingreso o beneficio bruto
CT: Costos totales

Rentabilidad

Se calculó relacionando el beneficio neto con el costo total de producción, utilizando la fórmula:

$$Rentabilidad = \frac{BN}{CT} x\ 100$$

Donde:

BB: Beneficios

CT: Costos totales

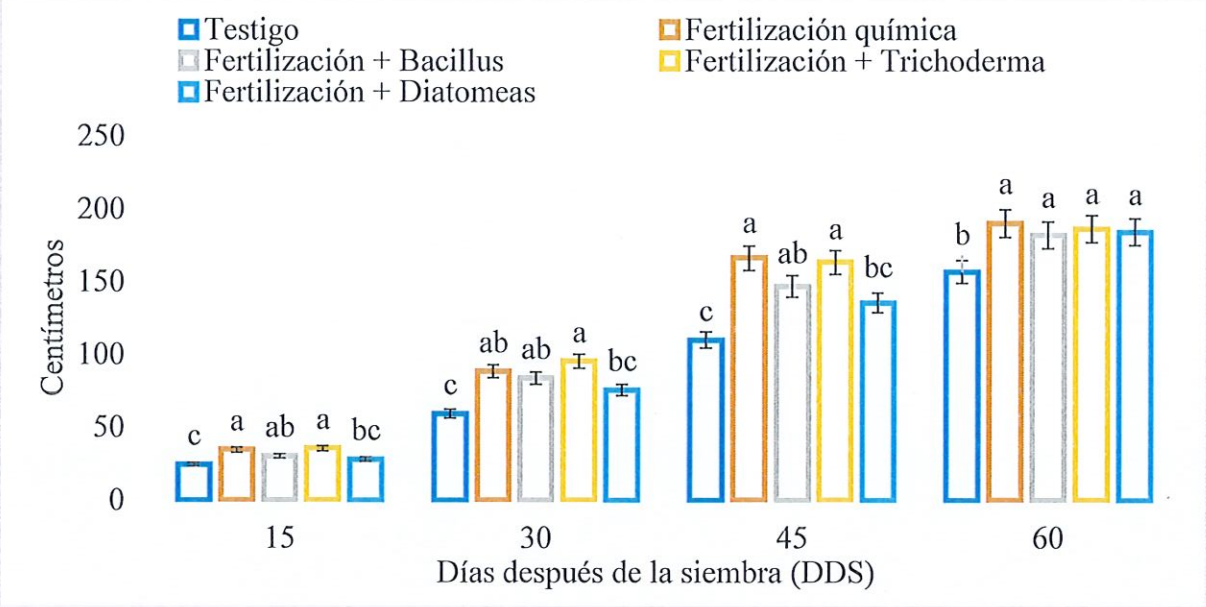
11. RESULTADOS

11.1. Altura de planta

El análisis de varianza permitió establecer una diferencia estadística altamente significativa ($p \leq 0.01$) entre los tratamientos de estudio, por su parte la prueba de Tukey confirmó estas diferencias, evidenciado que los tratamientos con aplicación de fertilización química o en combinación con bioinsumos alcanzaron las mayores alturas de plantas, con relación al testigo. Como se aprecia en la figura1 el tratamiento de fertilización química destacó sobre los demás durante casi todo el proceso de valoración de la altura de planta, alcanzado la mayor altura a los 15, 45 y 60 DDS, en este último momento de valoración con 190.20 cm, seguido de fertilización química + *Trichoderma* con 186.44 cm, mientras que el testigo apenas llega a 156.92 cm, lo cual sugiere que la disposición inmediata que los fertilizantes químicos ofrecen favoreció ligeramente al crecimiento de las plantas de maíz.

Los resultados obtenidos son contrarios a los reportados por Vallejo (2024), quien en su estudio probo diferentes bioinsumos en el cultivo de maíz, reportó que los tiramientos en combinación de bioinsumos estuvieron muy por encima del testigo el cual era únicamente con fertilización química alcanzando a penas 130 cm de altura a los 150 días y que los tratamientos de Biol + humus y Compos + biol fueron de las mayores alturas con 196 cm y 190 cm respectivamente.

Figura 1. Altura de planta en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje.



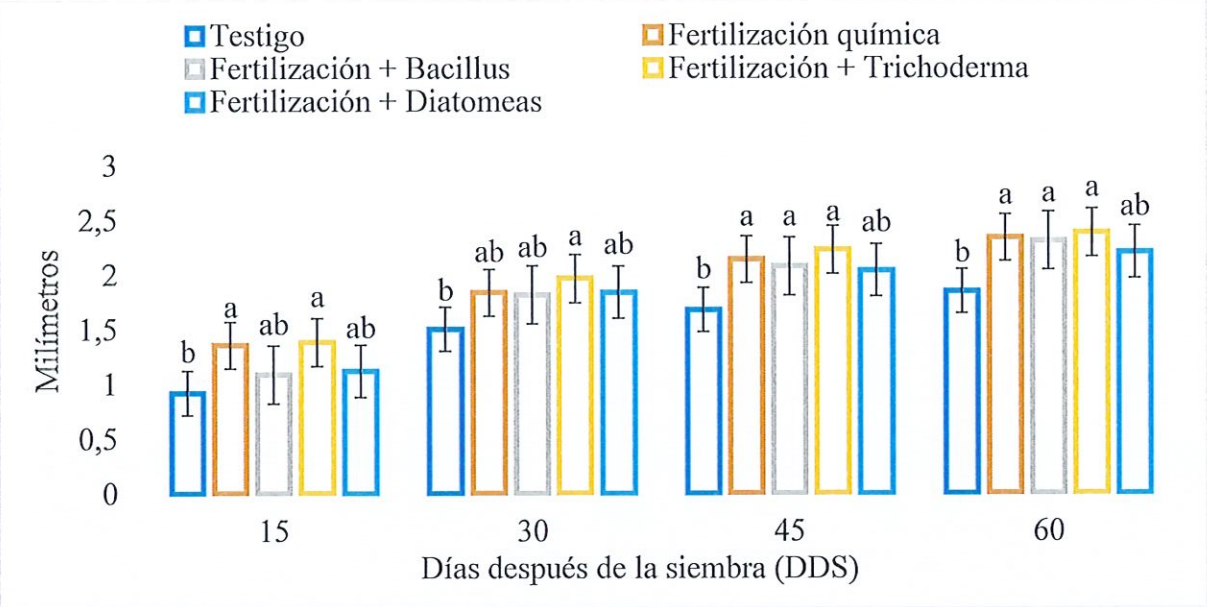
Elaborado por: Campos P, (2026)

11.2. Diámetro del tallo

Con el análisis estadístico su pudo apreciar que existió diferencia estadística significativa ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos, lo cual confirma la prueba de Tukey, apreciándose en la figura 2 que el tratamiento con fertilización química + *Trichoderma* a lo largo del desarrollo del cultivo se mantuvo con los mejores resultados, alcanzando como máximo grosor de tallo 2.38 cm de diámetro al final de la evaluación de esta variables a los 60 DDS, seguido del tratamiento con fertilización química con 2.31 cm, por encima del testigo que logro apenas 1.85 cm de diámetro, lo cual indica que combinar fertilización química con bioinsumos favoreció el desarrollo de los tallos de plantas de maíz.

Los resultados obtenidos en el presente estudio difieren a los publicados por Salguero (2026), quien al evaluar mejoradores biológicos de suelo (diatomea*s, Trichoderma y Bacillus*) frente a fertilización química en maíz forrajero, reportó al tratamiento con fertilización química como el de mayor diámetro de tallo a los 60 DDS con un valor de 2.63 cm, mientras que el tratamiento que combinaba fertilización química con *Trichoderma* fue el tercer mejor resultado con 2.24 cm de diámetro. Las diferencias entre los resultados numéricos de estas investigaciones podrían deberse a distintos factores como el manejo agronómico del cultivo, la genética del material vegetativo utilizado la condiciones edafoclimáticas y la interacción entre el suelo y los bioinsumos aplicados influyendo en la respuesta del cultivo de maíz.

Figura 2. Diámetro del tallo en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje.



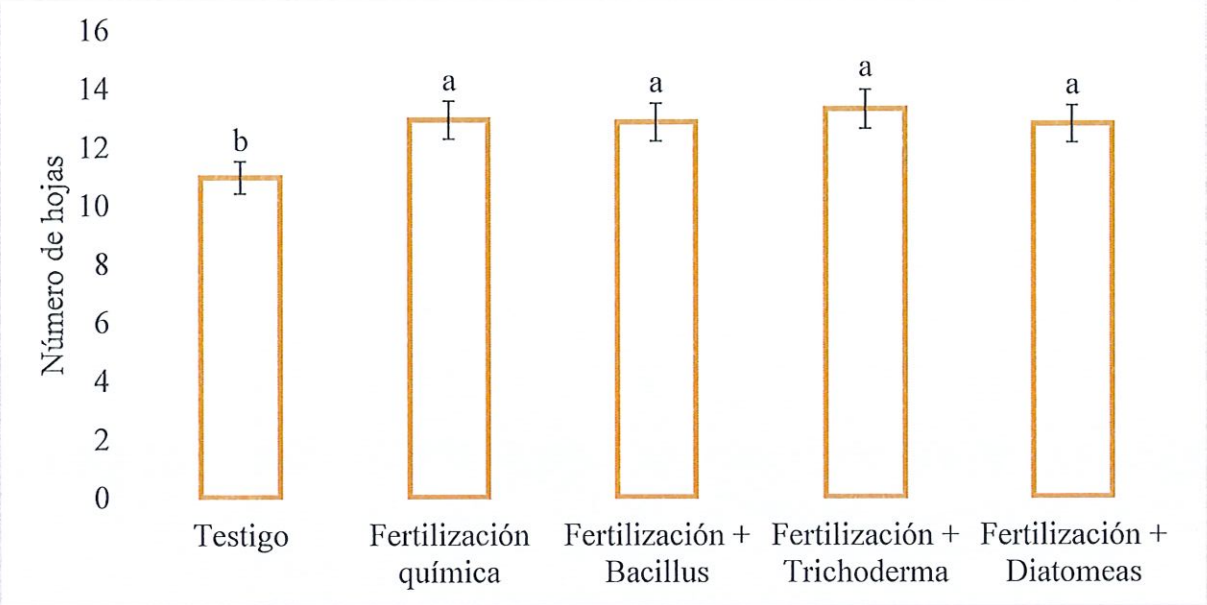
Elaborado por: Campos P, (2026)

11.3. Número de hojas

El análisis de varianza estableció diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p \leq 0,05$) con respecto a la variable número de hojas, lo que se corroboró con la prueba de Tukey y se aprecia en la figura 3, donde todos los tratamientos combinados fueron superiores al testigo. El mayor promedio se alcanzó con el tratamiento fertilización química + *Trichoderma* con 13.28 hojas, representando un incremento del 21.2% con respecto al testigo que únicamente logró 10.96 hojas, el segundo mejor resultado fue de fertilización química 12.92 hojas, seguido fertilización química + *Bacillus* con 12.84 hojas y fertilización química + diatomeas con 12.76 hojas, comportamiento que evidencia un efecto positivo sobre el desarrollo vegetativo de la fertilización combinada.

Estos resultados son superiores a los reportados por Souza *et al.* (2025), quienes al evaluar el efecto de la inoculación con el hongo *Trichoderma harzianum* con diferentes dosis de abonos orgánicos en maíz, reportaron que este bioestimulante promueve el desarrollo de hojas, sin embargo, depende de la dosis de fertilizante utilizada, obteniendo aproximadamente 8.8 hojas al momento de su valoración en el tratamiento de 10 t ha^{-1} con inoculación. Comportamiento similar fue expresado en la presente investigación, donde la fertilización química combinada con Trichoderma, favoreció al desarrollo foliar del cultivo de maíz para forraje.

Figura 3. Número de hojas en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje.



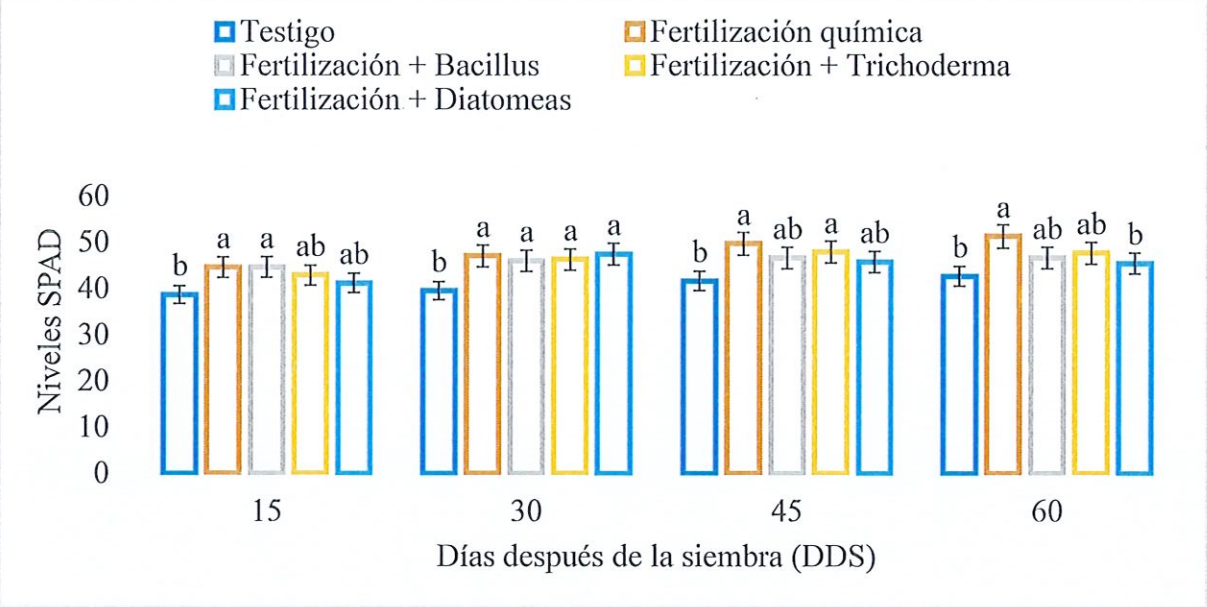
Elaborado por: Campos P, (2026)

11.4. Contenido de clorofila

El análisis de varianza permitió evidenciar diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos ($p \leq 0,01$) con relación al contenido de clorofila (SPAD) en todas las evaluaciones, por su parte la prueba de Tukey mostró al tratamiento con fertilización química como el de los mayores valores durante toda la valoración, registrando a los 60 DDS 51.31 unidades de SPAD, representado un aumento del 20.22 % respecto al testigo que apenas alcanzó 42.68 unidades de SPAD. Por su parte los tratamientos combinados de fertilización química + *Trichoderma*, fertilización química + *Bacillus* y fertilización química + diatomeas tuvieron un incremento menor que la fertilización química sola, registrando 11.67 %, 9.23 % 6.54 % de aumento de clorofila con respecto al testigo, demostrando que una adecuada disponibilidad de nutriente, aunque sea en formulación química puede favorecer la síntesis de clorofila

Estos resultados guardan cierta tendencia similar a lo publicado por Pérez-Álvarez *et al.* (2024), lo cuales al evaluar el efecto de biofertilizantes (Extracto de algas; *Rhizobium* sp y *T asperellum*) sobre el contenido de clorofila en unidades SPAD en maíz, reportaron el mayor incremento con el tratamiento de *Rhizobium* sp. con un 12% con relación al testigo, mientras que *Trichoderma asperellum* y el tratamiento que combinaba a todos los biofertilizantes lograron 11.45 % y 11.35 % respectivamente siendo significativamente superior al testigo, valores cercanos a los encontrados en el presente estudio con respecto a *Trichoderma*.

Figura 4. Contenido de clorofila en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje.



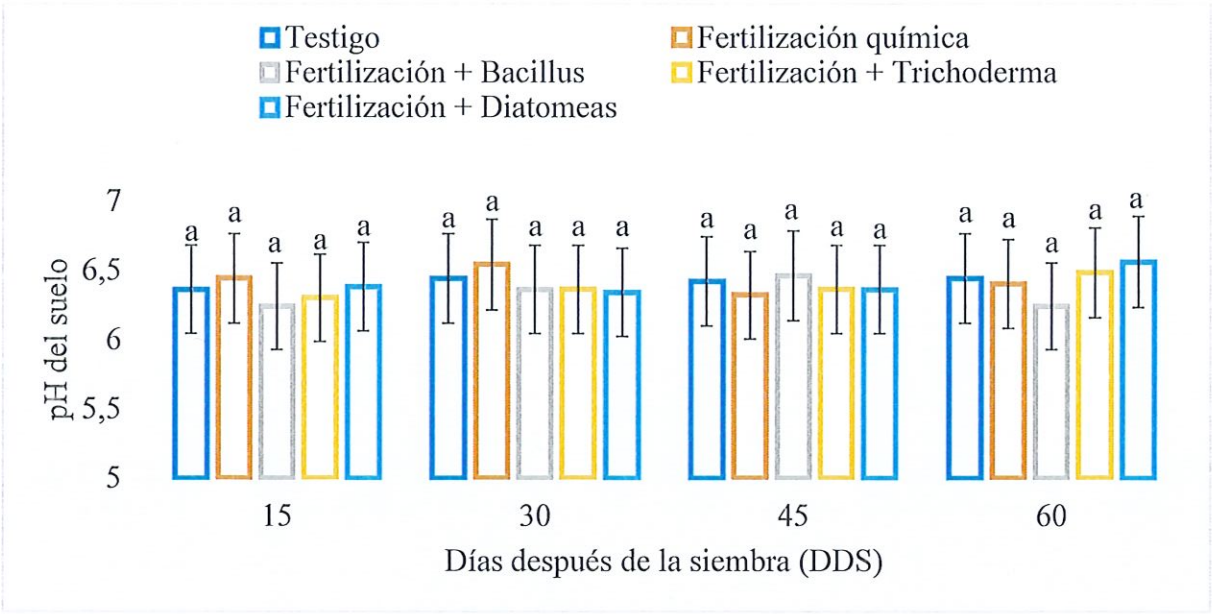
Elaborado por: Campos P, (2026)

11.5. pH del suelo

El análisis estadístico evidenció que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) sobre la variable de pH de suelo durante las evaluaciones realizadas, donde se registraron valores de 6.24 y 6.56, indicando que el suelo mantuvo una reacción ligeramente ácida todo el tiempo, evidenciando que ni la fertilización química ni sus combinaciones con *Bacillus*, *Trichoderma* y diatomeas modificaron de forma significativa la reacción de suelo en las condiciones ensayadas.

Los resultados obtenidos son coherentes con lo publicado por Salguero (2026), quien en su evaluación de mejoradores de suelo en maíz forrajero tampoco evidenció diferencias estadísticas en el pH del suelo durante la evaluación realizada, con valores que se encontraban en un rango de 6.30 a 6.6, comportamiento explicado por Brady y Weil (2017), quienes indican que los cambios en los niveles de esta propiedad química del suelo ocurren gradualmente, ya que está influenciada por diversos factores internos y externos como la textura de suelo, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y también por el uso constantes de fertilizantes acidificantes o alcalinizantes, así como también por Halvin et al. (2014), quienes manifiestan que las modificaciones del pH apreciables por lo general suceden producto de procesos acumulativos, sobre todo en prácticas intensivas como uso excesivo de fertilizantes durante varios ciclos de producción agrícola.

Figura 5. pH del suelo en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje.



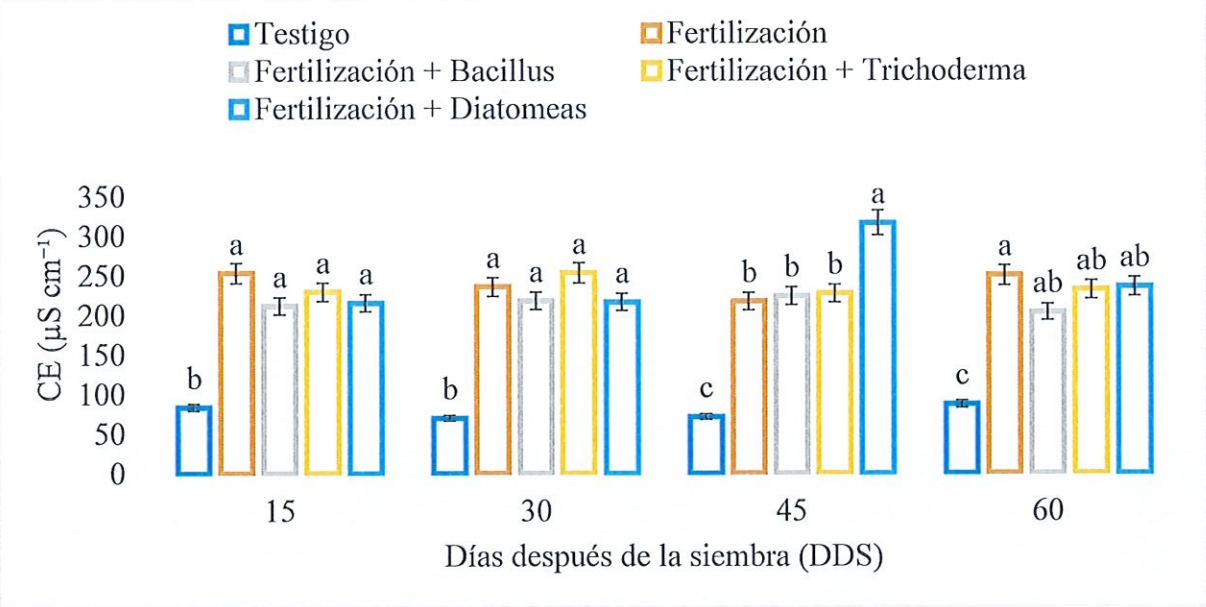
Elaborado por: Campos P, (2026)

11.6. Conductividad eléctrica del suelo (CE)

Con los resultados del análisis de varianza se pudo evidenciar diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$) para la variable conductividad eléctrica del suelo durante las evaluaciones realizadas, lo cual se corroboró con la prueba de Tukey, donde los tratamientos de fertilización química solo o en combinación con bioinsumos, registraron los valores de CE superiores al testigo como se aprecia en la figura 5. Fue el tratamiento de fertilización química combinada con diatomeas el mayor resultado, el cual a los 45 DDS obtuvo 316 $\mu S\ cm^{-1}$ lo que indicaría que esta aplicación en mezcla incrementó la acumulación de sales solubles en la solución del suelo, permitiendo el incremento de la conductividad eléctrica.

Los resultados obtenidos en la presente investigación pueden ser explicado teóricamente gracias a los principios descritos por Rhoades (1996), quien estableció que la conductividad eléctrica del suelo no es otra cosa que la medida de la concentración de iones de sales solubles que esta presentes en la solución del suelo, la cual aumenta cuando se incrementan la acumulación de cationes de aniones disueltos, gracias a que estos pueden favorecer el flujo de corriente eléctrica por medio de la solución del suelo. Contexto en el cual se evidenciaron valores mayores en los tratamientos de combinaciones de fertilización química con los biofertilizantes, aunque estos se mantuvieron siempre muy por debajo del valor tolerable por el cultivo de maíz 1,7 $dS\ m^{-1}$ o 1700 $\mu S\ cm^{-1}$ según FAO (1988).

Figura 6. Conductividad Eléctrica (CE) del suelo en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje.



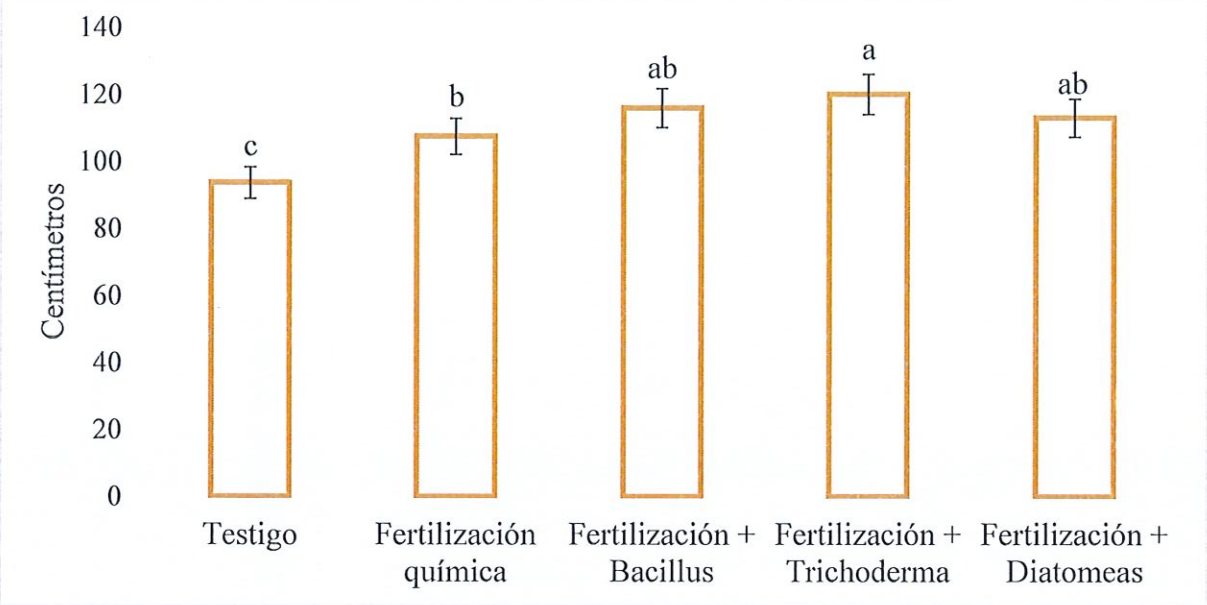
Elaborado por: Campos P, (2026)

11.7. Inserción de mazorca

Los resultados obtenidos con el análisis de varianzas mostraron que existieron diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$) en la variable inserción de la mazorca, con la prueba de Tukey de estableció que la mayor altura de inserción fue del tratamiento fertilización química + *Trichoderma* con un valor de 120.16 cm, seguido de fertilización química + *Bacillus* con 116.04 cm y fertilización química + diatomeas con 113.08 cm, muy por encima de tratamiento con únicamente fertilización química que obtuvo 107.52 cm y el testigo que apenas logro 93.68 cm, reflejando un comportamiento positivo del cultivo respecto uso de fertilización combinada con bioinsumos.

El comportamiento evidenciado con base a los resultados del presente estudio es consistente con lo señalado por Zsubori *et al.* (2002), los cuales expresan que la altura de inserción de la mazorca de maíz está relacionada estrechamente con el crecimiento vegetal de la planta, manteniendo una correlación positiva con la altura de planta y producción de biomasa, lo cual es similar a lo visto en la presente investigación, puesto que el tratamiento fertilización química + *Trichoderma* no solamente presentó la mayor altura de inserción de mazorca sino también la mayor altura de planta, lo cual sugiere además que existe un mejor desarrollo estructural y producción forrajera del maíz.

Figura 7. Inserción de la mazorca en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje.



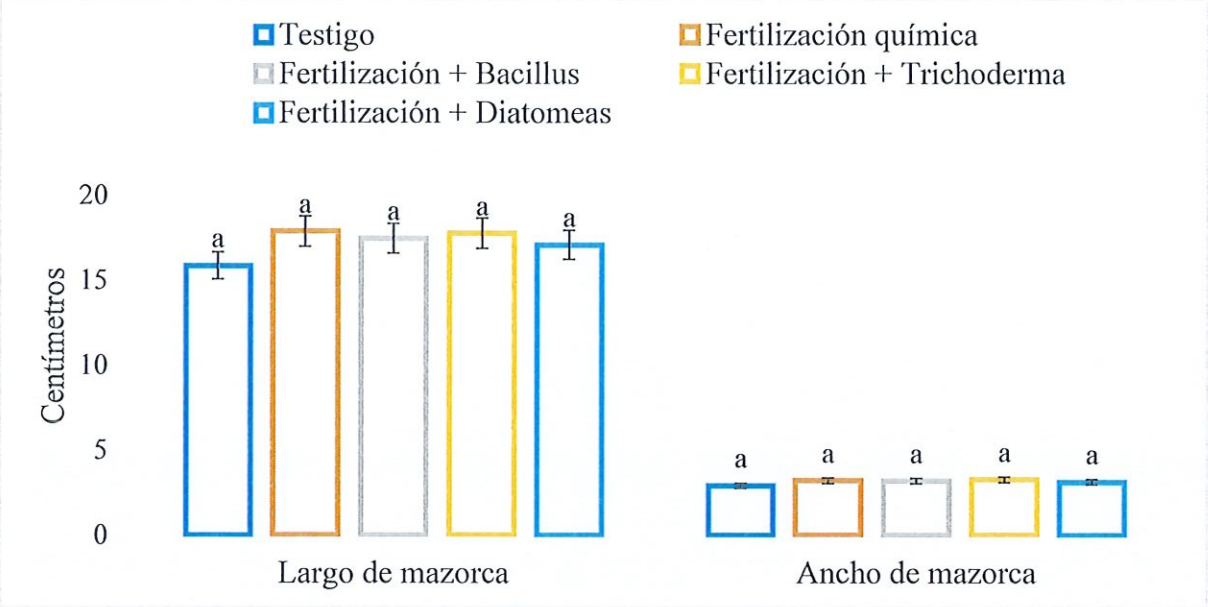
Elaborado por: Campos P, (2026)

11.8. Largo y ancho de la mazorca

El análisis estadístico evidenció que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos analizados tanto para el largo como para el ancho de la mazorca de maíz, sin embargo, numéricamente hablando los tratamientos con fertilización química sola o en combinación obtuvieron valores mayores. Es así, que el tratamiento de fertilización química obtuvo el mayor largo de mazorca con 17.88 cm, seguido de fertilización química + *Trichoderma* con un valor de 17.76 cm, fertilización química + *Bacillus* con 17.46 cm y fertilización química + diatomeas con 17.08 cm, por su parte, respecto al ancho de la misma el tratamiento con fertilización química + *Trichoderma* fue el valor más alto con 3.27 cm, seguido de fertilización química con 3.22 cm, fertilización química + *Bacillus* con 3.20 cm fertilización química + diatomeas con 3.13 cm, siendo el testigo el de las mazorcas más pequeñas con 15.85 cm de largo y 2.92 cm de ancho. Tanto la fertilización química sola como combinada obtuvieron los mejores índices de tamaño (suma de largo y ancho) con 12.41 cm y 12.04 cm respectivamente, representando un incremento del 12.41 % y 12.04 % en el tamaño de mazorca.

Estos resultados fueron similares a lo reportado por Souza *et al.* (2025), quienes obtuvieron mazorcas más largas con aplicación de fertilización (10 kg ha^{-1} de abono orgánico), mientras que el mejor diámetro fue en inoculación con *Trichoderma*, comportamiento que puede ser atribuido a una adecuada disponibilidad de nutrientes.

Figura 8: Largo y ancho de la mazorca en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje.



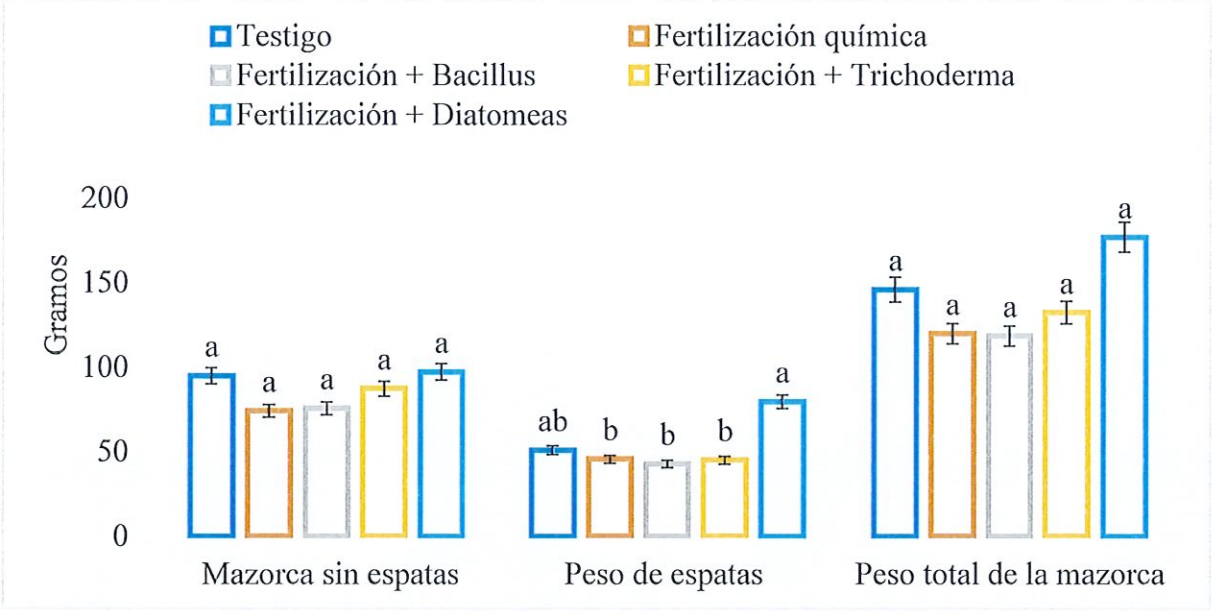
Elaborado por: Campos P, (2026)

11.9. Peso de la mazorca

Con el análisis estadístico realizado se pudo establecer que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) para el peso total de la mazorca ni para el peso de esta sin espatas, sin embargo, el tratamiento de fertilización química + diatomea numéricamente registró los mejores resultados con 176.80 g en el peso total de la mazorca y 97.20 g en peso de la mazorca sin espatas, seguido del testigo con 145.80 g de peso total de mazorca y 94.8 g de pesos de la mazorca sin espatas, siendo el tratamiento de fertilización química + *Bacillus* el del menor peso total de mazorca 118.40 g y 42.80 g de peso de la mazorca sin espata, resultados que son superiores difieren con los obtenidos por Mosquera (2023), donde la utilización de bioinsumos alcanzo los mejores promedios de peso de mazorca con 115.08 g superando ampliamente al tratamiento de fertilización química que logró apenas 93.67 g, atribuyendo este comportamiento a los compuestos bioactivos y nutrientes aportados por el bioinsumo.

Por su parte, con respecto al peso de las espatas, el mejor resultado 79.60 g fue para el tratamiento fertilización química + diatomeas, difiriendo significativamente sobre el resto de tratamiento como se aprecia en la figura 9, resultado que sugiere que las diatomeas promovieron el desarrollo de los tejidos protectores de la mazorca incrementado su biomasa, ya que de acuerdo con Rosales (2025) el alto contenido de silicio de este bioinsumo permite el fortalecimiento de las paredes celulares mejorando los tejidos protectores.

Figura 9. Peso de la mazorca en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje.



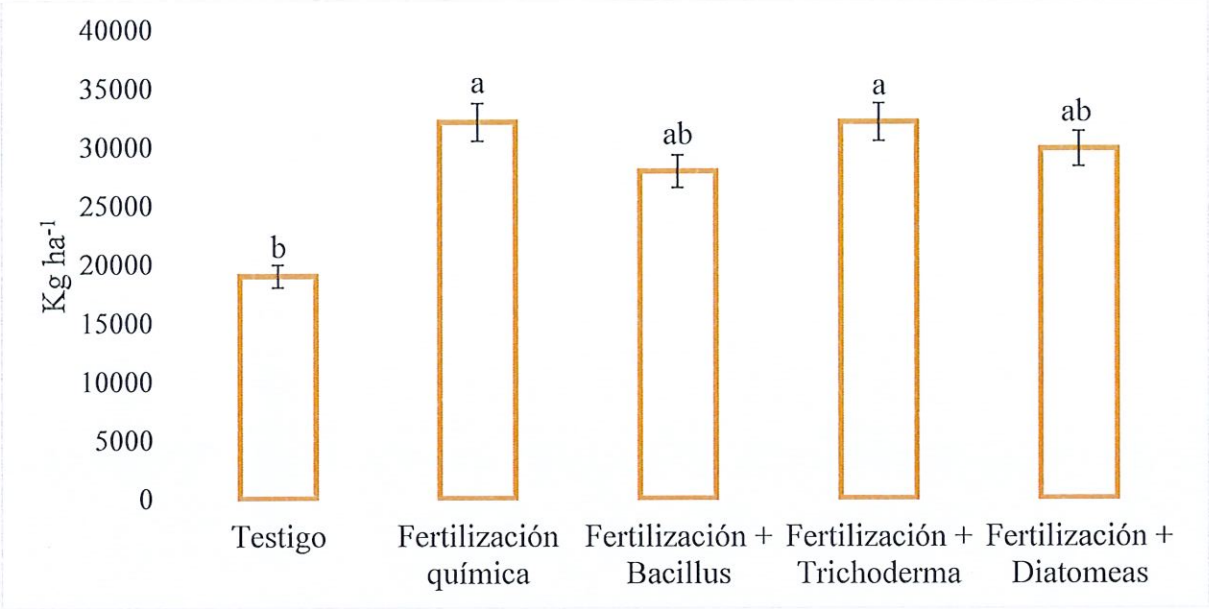
Elaborado por: Campos P, (2026)

11.10. Rendimiento forrajero

Los resultados de la variable rendimiento forrajero evidenció diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos analizados, donde tanto la fertilización química como combinada con *Trichoderma* lograron el mayor valor de producción con 32100 Kg ha^{-1} superando ampliamente al testigo que alcanzó 19000 Kg ha^{-1}, mientras que los tratamientos de fertilización química + *Bacillus* y fertilización química + diatomeas registraron 27900 Kg ha^{-1} y 29800 Kg ha^{-1} respectivamente, lo que evidenció una tendencia al aumento de la producción forrajera del cultivo de maíz en los tratamientos fertilizados químicamente solo o combinado con bioinsumos, sin embargo este comportamiento sugiere que la respuesta de los bioinsumos dependió no solo de la interacción entre el fertilizante utilizado y los microorganismos sino también de la fertilidad y condiciones propia del suelo en las condiciones de ensayo de campo del presente estudio

Los resultados obtenidos en la presente investigación son superiores y se contraponen a los establecidos por Vallejo (2024) al evaluar el efecto de la aplicación de bioinsumos en el cultivo de maíz, quien registró 20900 Kg ha^{-1} como su mejor producción forrajera en el tratamiento que empleaba Humus + EMAS, mientras que los peores resultados se registraron en los tratamientos de Micorrizas + Humus con 13650 Kg ha^{-1} y fertilización química 11300 Kg ha^{-1}, lo cual es opuesto a los 32100 Kg ha^{-1}.

Figura 10. Rendimiento forrajero en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje.



Elaborado por: Campos P, (2026)

11.11. Análisis económico

El análisis económico de los tratamientos de la presente investigación reveló que la fertilización química alcanzó la mayor rentabilidad económica 145.21 %, al haber alcanzado un ingreso bruto de 3531 USD ha^{-1}, con un beneficio neto de 1440 USD ha^{-1}, resultados que se explican por el mayor rendimiento forrajero obtenido. Pese a que el tratamiento con fertilización química +*Trichoderma* presentó el mismo rendimiento forrajero que el de fertilización química sola presentó una menor rentabilidad 127.81 %, gracias a los costos que representó la adquisición del bioinsumo, situación semejante a los tratamientos de fertilización química con diatomeas y *Bacillus*, donde los costos que representan estos productos y las actividades de aplicación redujeron el beneficio económico.

Por su parte, el tratamiento testigo mostró no solamente el menor rendimiento forrajero, por ende, reflejó el menor ingreso neto 1095 USD ha^{-1} y menor rentabilidad con 100 %, comportamiento que constata que cuando existe una fertilización limitada reduce la productividad del cultivo disminuyendo de manera considerable su rentabilidad del cultivo.

Para el cálculo del análisis económico y la estimación de los ingresos económicos se empleó un precio de venta referencial de 0.11 USD Kg^{-1} de forraje, con base a los rangos de comercialización en el país, de acuerdo con Villón (2019) aunque en Ecuador no existe un precio oficial de comercialización para maíz forrajero, su valor se fija en función de su calidad,

de la demanda y de la zona, en los mercados el valor por pacas de 45 Kg oscila entre los 4 y 5.50 USD, equivalente a 0.089 y 0.122 USD.

Tabla 6. Análisis económico en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje.

Tratamiento	Rendimiento (kg ha^{-1})	Beneficio Bruto (USD ha^{-1})	Costo de Producción (USD ha^{-1})	Beneficio Neto (USD ha^{-1})	Relación B/C*	Rentabilidad (%)
Testigo	19000	2090	995	1095	2.10	110.05
Fertilización química	32100	3531	1440	2091	2.45	145.21
Fertilización + *Bacillus*	27900	3069	1535	1534	2.00	100.00
Fertilización +*Trichoderma*	32100	3531	1550	1981	2.28	127.81
Fertilización + diatomeas	29800	3278	1520	1758	2.16	115.66

Elaborado por: Campos P, (2026)

12. IMPACTOS

12.1. Técnicos

La presente investigación permitió aportar evidencia científico técnico sobre el efecto de la aplicación de fertilizantes químicos solos o en combinación con *Trichoderma*, *Bacillus* y diatomeas sobre la producción forrajera del maíz, cuyos resultados son una base técnica fiable y válida para toma de decisiones sobre la nutrición y fertilización del cultivo en las condiciones agroecológicas del cantón La Maná, sirviendo de referencia para productores, técnico e investigadores interesados en estas estrategias de producción.

12.2. Social

Socialmente hablando, los resultados presentados en este documento permiten el fortalecimiento de las capacidades técnicas no solo de productores, sino también de estudiantes y profesionales del sector agrícola y pecuario al proporcionar información de carácter científico sobre el manejo del cultivo de maíz destinado a forraje, poniendo a disposición prácticas de fertilización con mayor eficiencia, fortaleciendo los sistemas de producción forrajera de la zona y contribuyendo a la seguridad alimentaria.

12.3. Económico

El presente proyecto incluye un análisis económico que permitió la identificación de método o forma de fertilización más rentable en producción forrajera, poniendo a disposición información que podría ser de gran utilidad al momento de efectuar planificaciones o proyecciones para inversión, contribuyendo así a la mejora de economía familiar y local, al emplear los recursos disponibles de manera más eficiente.

12.4. Ambiental

Aunque en la presente investigación la fertilización química resulto económicamente la más rentable, la incorporación de bioinsumos como *Trichoderma*, *Bacillus* o diatomeas representan una alternativa para contribuir al manejo sostenible del cultivo de maíz para forraje, al promover los procesos biológicos del suelo que se asocian a su fertilidad y microfauna benéfica. El uso de bioinsumos puede permitir la reducción progresiva de la dependencia de fertilizantes sintéticos, conservando el suelo, protegiendo fuentes de agua subterráneas y superficiales que en muchas ocasiones son contaminada en las prácticas agrícolas intensivas.

13. PRESUPUESTO

En la tabla 7 se puede apreciar el prepuesto de la presente investigación en función de los diferentes insumos, equipos utilizados y labores realizadas.

Tabla 7. Presupuesto en la fertilización química combinada con bioinsumos sobre el crecimiento, rendimiento y propiedades químicas del suelo en maíz (*Zea mays* L.) para forraje.

Materiales y equipos	Cantidad	Unidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Análisis de suelo	1	análisis	30	30
Semilla híbrida de maíz	2	kg	12	24
Diatomeas	0.6	kg	30	18
Trichoderma	0.06	kg	180	10.8
Bacillus	0.3	kg	120	36
Muriato de potasio	3	kg	1.2	3.6
Urea	2	kg	0.9	1.8
Green Master	150	ml	0.08	12
Evergreen	150	ml	0.08	12
Azoxystrobin + Tebuconazole	50	ml	0.4	20
Deltamethrin	30	ml	0.2	6
Fertilizante 10-30-10	2	kg	1.3	2.6

Alquiler de bomba de mochila (20 L)	20	días	2	40
Uso de balanza electrónica	20	días	1	20
Cinta métrica	1	unidad	12	12
Calibrador Vernier digital	1	unidad	35	35
Machete	2	unidad	12	24
Azadón	1	unidad	20	20
Piola	1	rollo	8	8
Conductivímetro digital	1	ud	90	90
pH-metro digital	1	ud	80	80
Medidor SPAD (equipo institucional)	4	alquiler	15	60
Preparación del terreno	1	jornales	25	25
Siembra	1	jornales	25	25
Aplicación de tratamientos	3	jornales	25	75
Control manual de malezas	3	jornales	25	75
Evaluación de variables agronómicas	8	jornales	25	200
Cosecha y evaluación del rendimiento	4	jornales	25	100
TOTAL				**1065.8**

Elaborado por: Campos P, (2026)

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1. Conclusiones

- La fertilización química y su combinación con bioinsumos impulsó el crecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo de maíz para forraje, puesto que combinada con *Trichoderma* logró el mayor diámetro del tallo (2.38 cm) y el mayor número de hojas (13.28), mostrando una respuesta positiva con respecto al testigo al igual que el resto de combinaciones.
- La fertilización química aplicada sola o en combinación con bioinsumos mejoró significativamente la producción forrajera del cultivo de maíz, ya que tanto el tratamiento de fertilización química como combinada con *Trichoderma* alcanzaron el rendimiento más alto (32100 Kg ha^{-1}), representando un incremento del 68.9%.
- Aplicar fertilizantes químicos o combinados con *Trichoderma*, *Bacillus* y diatomeas, no modifica significativamente las propiedades químicas del suelo a corto plazo, puesto que el pH de suelo (6.24 a 6.56), mientras que la CE por su parte también permaneció en niveles no dañinos para las plantas llegando como máximo a 316 $\mu S\ cm^{-1}$.
- Económicamente el mejor tratamiento fue la fertilización química con 2.45 de su relación B/C, sin embargo, el tratamiento fertilización química + *Trichoderma* también

tuvo una muy buena rentabilidad, aunque por debajo del anterior con una B/C de 2.28, lo que las consolida como opciones recomendables en las condiciones de desarrollo del presente estudio.

- Los resultados del presente estudio muestran que *Trichoderma* utilizado como complemento de la fertilización convencional, constituye una herramienta muy eficiente en el manejo del maíz para forraje, puesto que favoreció no solo su desarrollo vegetativo sino también a su rendimiento.
- Basado en los resultados de la presente investigación se acepta la hipótesis alternativa (Ha), ya que la aplicación de fertilización química combinada con bioinsumos produjo un efecto en el crecimiento, rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) para forraje.

14.2. Recomendaciones

- Validar el comportamiento de la fertilización química y su combinación con *Trichoderma*, *Bacillus* y diatomeas en otras condiciones climáticas y épocas de siembra a fin de poder establecer la estabilidad de la respuesta agronómica.
- Valorar dosis, método o momentos de aplicación de los bioinsumos a fin optimizar el efecto que tienen sobre el crecimiento, rendimiento y las propiedades químicas del suelo.
- Agregar en futuros estudios algunas variables relacionadas con la calidad del forraje, como el contenido de materia seca y nivel de proteína cruda entre otras, para complementar así la evaluación de la productividad del maíz para forraje.
- Se recomienda también impulsar el uso de fertilización química combinada con bioinsumos, puesto que se ha demostrado con los resultados de la presente investigación que puede ser una alternativa que permite la sostenibilidad del cultivo de maíz para forraje, al tener un buen desarrollo vegetativo, una buena productividad y sobre todo no afectar las propiedades del suelo.

15. BIBLIOGRAFÍA

Arevalo, P. (2018). *Diatomeas epilíticas como bioindicadoras de eutrofización en la microcuenca del Rio "Guano", Provincia De Chimborazo*. [Trabajo fin de titulacion Universidad Internacional SEK]. Repositorio institucional UISEK https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2886/2/TESIS%20DIATOMEAS%20RIO%20GUANO%20FINAL.pdf

Agurto, X. (2024). *Efectividad de la tierra de diatomeas como coadyuvante en aplicaciones foliares de agroquímicos en maíz* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio Institucional ESPAM MFL. http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2547

Banerjee, S., Sarkar, S., Sarkar, S., Ghosh, B., & Ghosh, S. (2023). Biofertilizer and their importance in sustainable agriculture. *Journal of Advanced Zoology*, 2526-2529. https://doi.org/10.53555/jaz.v44iS5.3222

Borja, J., & Rocano, K. (2022). Captura, reproducción y aplicación del hongo Trichoderma. *Revista Juventud y Ciencia Solidaria.* https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23899/1/Rev_Juv_Cie_Sol_1204.pdf

Brady, N., & Weil, R. (2017). The nature and properties of soils (15th ed.). Pearson.

Canizalez-Silva, M., Blanco-Macías, F., España-Luna, M., Rosa-Rodríguez, R., Lozano-Gutiérrez, J., & Lara-Herrera, A. (2024). Microorganismos en la biofertilización del

cultivo de maíz como complemento a la fertilización química. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 11(1), e3903. Epub 16 de agosto de 2024.https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3903

Carreño, F., Vásquez, A., & Vásquez, G. (2019). Problemas sociales y ambientales por el uso de agroquímicos en Tenancingo, México. *Revista academica de investigación*. 31,1 -25. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7295545

Castillo, B., Ruiz, J., Manrique, M., & Pozo, C. (2020). Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete (Perú). *Revista Espacios*, 1-12. Obtenido de https://www.revistaespacios.com/a20v41n10/20411011.html

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (1988). *From agronomic data to farmer recommendations: An economics training manual*. Repositorio insticuional CIMMYT. https://repository.cimmyt.org/entities/publication/0a80fbac-853f-4010-b2fc-f145a3440a91/full?utm_source=chatgpt.com

Corro, K. (2021). *Mapeo geográfico toxicológico de los plaguicidas utilizados en el cultivo de maíz de la zona norte de la provincia de Los Ríos*. [Perfil de proyecto de investigación, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio UTEQ. https://repositorio.uteq.edu.ec/items/89daa267-a61c-46a5-95ef-e880912ab6a5

Du, X., Zuo, Q., Feng, L., Zhang, W., Dou, T., Bian, X., & Zhang, L. (2008). Effects of nitrogen application on forage maize planted in two soil types in the agriculture–animal husbandry ecotone of North China. *Acta Agronomica Sinica, 34*(6), 1051–1058. https://doi.org/10.3724/SP.J.1006.2008.01051.

Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 50*, 641–664. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.641

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (1998). *Crop salt tolerance data*. En *Annex 1. Crop salt tolerance data*. FAO. https://www.fao.org/4/y4263e/y4263e0e.htm

FAO. (2001). *Uso del ensilaje en el Trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos*. FAO. https://www.fao.org/4/x8486s/x8486s00.htm

García, J., Castro, C., & Moreno, G. (2021). Estudio de la fertilización química y orgánica y su efecto en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en una comuna. *Revista Alfa, 5*(14), 145–152. https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.105

Hammer, G., Dong, Z., McLean, G., Doherty, A., Messina, C., Schussler, J., Zinselmeier, C., Paszkiewicz, S. and Cooper, M. (2009), Can Changes in Canopy and/or Root System Architecture Explain Historical Maize Yield Trends in the U.S. Corn Belt?. *Crop Sci.*, 49: 299-312. https://doi.org/10.2135/cropsci2008.03.0152

Harman, G., Howell, C., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). Trichoderma species—Opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology, 2*(1), 43–56. https://doi.org/10.1038/nrmicro797

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2023). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2023: Principales resultados*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Principales_resultados_ESPAC_2023.pdf

Li, Y., Wang, C., Wu, J., Zhang, Y., Li, Q., Liu, S., & Gao, Y. (2023). The effects of localized plant–soil–microbe interactions on soil nitrogen cycle in maize rhizosphere soil under long-term fertilizers. *Agronomy, 13*(8), 2114. https://doi.org/10.3390/agronomy13082114

Liimatainen, A., Sairanen, A., Jaakkola, S., Kokkonen, T., Kuoppala, K., Jokiniemi, T., & Mäkelä, P. S. A. (2022). Yield, Quality and Nitrogen Use of Forage Maize under Different Nitrogen Application Rates in Two Boreal Locations. *Agronomy, 12*(4), 887. https://doi.org/10.3390/agronomy12040887

Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3.ª ed.). Academic Press. https://home.czu.cz/storage/737/65060_Mineral-Nutrition-of-higher-plants-Marschner-2012.pdf

Martínez, L., Aguilar, C., Carcaño, M., Galdámez, J., Gutiérrez, A., Morales, J., Martínez, F., Llaven, J., & Gómez, E. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra, 5*(1), 26–37. https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1425

Mosquera, C. (2023). *Evaluación del efecto de dos formulaciones de biol en las plagas de importancia económica del cultivo de maiz (Zea mays L.) en la granja experimental la Pradera Chaltura* [Trabajo de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica del Norte. https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/15093/2/03%20AGP%20380%20TRABAJO%20GRADO.pdf

Naranjo, A. (2017, dicembre, 3). *La otra guerra. Situación de los plaguicidas en Ecuador*. Accion ecologica. https://www.accionecologica.org/la-otra-guerra-situacion-de-los-plaguicidas-en-ecuador/

Pérez-Álvarez, S., Ochoa-Chaparro, E., Anchondo-Páez, J., Escobedo-Bonilla, C., Rascón-Solano, J., Magallanes-Tapia, M., Uranga-Valencia, L., Hernández-Campos, R., & Sánchez, E. (2024). Nitrogen assimilation, biomass, and yield in response to application of algal extracts, Rhizobium sp., and Trichoderma asperellum as biofertilizers in hybrid maize. *Nitrogen, 5*(4), 1031–1047. https://doi.org/10.3390/nitrogen5040066

Pérez-Luna, Y., & Álvarez, J. (2021). Efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre el rendimiento de maíz en parcelas con y sin cobertura vegetal. *Idesia, 39*(4), 29–38. https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000400029

Poveda, J., & Eugui, D. (2022). Combined use of Trichoderma and beneficial bacteria (mainly Bacillus and Pseudomonas): Development of microbial synergistic bio-inoculants in sustainable agriculture. *Biological Control, 176*, 105100. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105100

Rhoades, J. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. En D. L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical Methods (SSSA Book Series No. 5, pp. 417–435). *Soil Science Society of America.* https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c14

Rosales, D. (2025) *Efecto de inoculación micorrízica y tierra de diatomeas en el cultivo de maíz criollo Zea mays L. en Río Nuevo, parroquia Colonche* [Trabajo de Integración Curricular, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio Institucional de la UPSE. https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/25a70a37-5552-4806-9498-8b340f552cc8/content

Ruilova, M., Cobos, F., & Gómez, J. (2023). *Cultivo de maíz*. Editorial Universidad Técnica de Babahoyo. https://libros.utb.edu.ec/index.php/utb/catalog/book/99

Saldaña-Morales, B., Salas-Marina, M., Hernández-García, V., Rodríguez-Larramendi, L., Ríos-De León, N., & Ríos-Velasco, C. (2026). Efecto biofertilizante de Trichoderma spp y Bacillus spp endófitos de café sobre el cultivo de maíz. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, 13(1). https://doi.org/10.19136/era.a13n1.4404

Salguero, B. (2026). *Mejoradores biológicos del suelo (diatomeas, Trichoderma y consorcio microbiano) frente a fertilización convencional en cultivo de maíz (Zea mays L.) para forraje* [Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Cotopaxi. https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/326a8432-a066-4e1c-8e34-19a2a541f801/content

Sanfo, A., Zampaligré, N., Kulo, A., Somé, S., Traoré, K., Rios, E., Dubeux, J., Boote, K., & Adesogan, A. (2023). Performance of food–feed maize and cowpea cultivars under monoculture and intercropping systems: Grain yield, fodder biomass, and nutritive value. *Front. Anim.* Sci. 3:998012. doi: 10.3389/fanim.2022.998012

Sangoquiza, C., Zambrano, J., Nieto, M., Quimbiamba, V., & Asaquibay , C. (2021). *Efecto de biofertilizantes bacterianos sobre el rendimiento del cultivo de maíz de altura.* Repositorio Institucional INIAP. https://repositorio.iniap.gob.ec/items/8694670a-8bb0-43d0-bbb9-b1deb2bc6c02

Sela, G. (2024, febrero, 9). El potencial de biofertilizantes en la agricultura. *Cropaia.* https://cropaia.com/es/blog/biofertilizantes/

Souza, M., Sousa, G., Pereira, A., Sousa, H., Garcia, K., Sousa, L., Silva, G., Silva, Ê., Silva, T., & Silva, A. (2025). Aplicación de fertilizante de estiércol de ganado y bioestimulante Trichoderma para mitigar el estrés salino en maíz verde bajo un sistema agroecológico en la región semiárida brasileña. *Plants* , *14* (23), 3643. https://doi.org/10.3390/plants14233643

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I., & Murphy, A. (2018). *Plant physiology and development* (6.ª ed.). Sinauer Associates.

https://sirsyedcollege.ac.in/crm/public/uploads/download_image/H8aTDrHeKuTogISO7SE1r80gjP2dmU.pdf

Vallejo, J. (2024). *Evaluación del efecto de la aplicación de bioinsumos en el cultivo de maíz (Zea mays L.) en el Centro Experimental San Francisco-Huaca* [Trabajo de Integración Curricular, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi. https://repositorio.upec.edu.ec/items/53f65ff3-0ce0-4d41-9f3c-3a17a9f33459

Velásquez, J. & Araujo, M. (2021). *Maíz forrajero INIAP- 180, fuente excepcional para ensilado e importante alternativa alimenticia para ganado lechero*. Repositorio Institucional INIAP. http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5805

Villagrana-Soto, M., Lara-Herrera, A., Gutiérrez-Bañuelos, H., Echavarría-Cháirez, F., De la Rosa-Rodríguez, R., & González-Hernández, J. (2026). Biofertilizantes en la producción de maíz (Zea mays L.) de riego en dos condiciones de fertilización. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, 13(1). https://doi.org/10.19136/era.a13n1.4446

Villón, C. (2019). Calidad nutricional de dos híbridos de maíz para ensilaje en la comuna Las Balsas-Santa Elena [Trabajo de Titulación, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/344cd733-f3dd-497e-8f60-41fb1a5cd344/content

Zambrano, J., & Caviedes, M. (2022). *Estado actual de la producción de maíz en Ecuador*. Repositoria INIAP. https://repositorio.iniap.gob.ec/items/637569d9-acf6-48b4-83a7-2f475cc5ed8d

Zambrano, F., Souza, D., Zucareli, C., Sarkis, J., Rodriguez, H., Hèlder, E., Raju, N., Sanchez, A., Guimaraes, m., & Prasad, R. (2023). Combination effects of microbial inoculation and N fertilization on maize yield: A field study from southern Brazil. *Rhizosphere*, 27, 100768. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100768

Zaragoza-Esparza, J., Medina-Fernández, Ma., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., López-López, C., Canales-Islas, E., Chávez-Gordillo, A., & Alonso-Sánchez, H. (2021).

Productividad y calidad de forraje de híbridos trilineales de maíz para Valles Altos de México. *Revista fitotecnia mexicana*, 44(4), 537-544. Epub 30 de noviembre de 2023.https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.537

Zsubori, Z., Gyenes-Hegyi, Z., Illés, O., Pók, I., Rácz, F., & Szőke, C. (2002). Inheritance of Plant and Ear Height in Maize (Zea mays L.). *Acta Agraria Debreceniensis, 8*, 34–38. https://doi.org/10.34101/actaagrar/8/3548