

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACIÓN**

**BIOFERTILIZANTES COMO ALTERNATIVA AL USO DE FERTILIZANTES
QUÍMICOS SINTÉTICOS EN LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE MAÍZ (*Zea mays*
L)**

POR:

FLOR DE MARÍA REQUENO ORELLANA

TESIS



CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, C. A.

SEPTIEMBRE, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**BIOFERTILIZANTES COMO ALTERNATIVA AL USO DE FERTILIZANTES
QUÍMICOS SINTÉTICOS EN LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE MAÍZ (*Zea
mays*)**

POR:

FLOR DE MARÍA REQUENO ORELLANA

**Dr. MARIO EDGARDO TALAVERA SEVILLA
Director de Tesis**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES**

CATACAMAS

OLANCHO

SEPTIEMBRE, 2025

DEDICATORIA

A Dios, fuente de vida y sabiduría, por iluminar mi camino, darme fuerza en los momentos difíciles y guiar cada paso de este proceso académico.

A mis padres **Filadelfo Requeno** y **Nelly Orellana** que son ejemplo de esfuerzo, dedicación y amor incondicional. Gracias por enseñarme con su vida que la perseverancia y el trabajo honesto son la llave para abrir las puertas del futuro. Este logro es tan suyo como mío, porque sin su apoyo constante, nada de esto habría sido posible.

A mis hermanos **Josué Requeno**, **Alicia María**, **Ana María** y **Eliel Edgardo** por sus palabras de aliento, su paciencia y comprensión durante las largas jornadas de estudio e investigación.

Dedico este trabajo al esfuerzo y sabiduría de las familias campesinas que, con sus manos y su amor a la tierra, mantienen vivo el cultivo del maíz, alimento sagrado y base de nuestra cultura. A mis seres queridos, quienes con su apoyo constante me han dado la fuerza para continuar y no rendirme en el camino. Y a la naturaleza, por brindarnos cada semilla que germina esperanza.

A quienes creyeron en mí incluso cuando las circunstancias parecían adversas, recordándome que los sueños se alcanzan con disciplina y fe.

AGRADECIMIENTOS

A Dios todopoderoso, por iluminar mi camino y darme la fuerza, salud y perseverancia necesarias para culminar esta etapa académica.

A mis padres, por su amor incondicional, sacrificio y constante apoyo moral y emocional durante toda mi formación.

A mis asesores, el **Dr. Mario Edgardo Talavera**, el **M.Sc. Gustavo López** y el **M.Sc. Emilio Fuentes** y al **Lic. Saady Argeñal**, por su guía, dedicación, experiencia y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación. Su orientación fue clave para alcanzar los objetivos planteados.

A la **Universidad Nacional de Agricultura**, por brindarme el espacio y las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente.

A mi novio **Edson López**, por ser mi apoyo incondicional en cada etapa de este proceso, por su paciencia en los momentos difíciles y por motivarme siempre a dar lo mejor de mí. Su cariño y confianza fueron una fuente de fortaleza que me impulsó a caminar y poder alcanzar este logro.

A mis compañeros y amigos **Kati Aguilar**, **Beesi Arely**, **Paola Mejía**, **Derixon Mendoza**, por su colaboración, amistad y apoyo en cada etapa del proceso.

A todos aquellos que, de una u otra forma, contribuyeron a la realización de este trabajo gracias sinceras.

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
I INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo General.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
IV. REVISION DE LITERATURA.....	4
4.1 Sistemas de producción agroalimentaria sostenibles.....	4
4.2. Biofertilizantes.....	5
4.2.1 ¿Por qué utilizar Biofertilizantes?	5
4.2.2 Ventajas y beneficios de los biofertilizantes.....	7
4.2.3 Prácticas sostenibles en acompañamiento a la aplicación de biofertilizantes	7
4.3 Biofertilizantes a evaluar en esta investigación.....	9
4.4 Fertilizantes químicos de síntesis, ¿Un riesgo para el medio ambiente?.....	10
4.4.1 Consecuencias de la degradación del suelo por el uso excesivo de fertilizantes químicos de síntesis.....	11

4.4.2 Contaminación del agua	11
4.4.3 Efectos sobre la salud humana.....	12
4.4.4 Incremento peligroso de los microorganismos	12
4.4.5 Suelos ácidos	13
4.5 Biofertilizantes como alternativa para la agricultura sostenible.....	13
4.6. Biofertilizantes aplicados en cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.).....	14
4.7 Generalidades del cultivo del maíz (<i>Zea mays</i> L.).....	15
4.7.1 Etapas fenológicas del maíz	17
4.7.2 Maíz en Honduras.....	20
4.7.3 Enfermedades que pueden llegar a afectar al Maíz	20
V. MATERIALES Y METODOS	22
5.1 Descripción del área de estudio	22
5.2 Materiales y equipo	23
5.3. Métodos	23
5.3.1 Preparación del terreno.....	23
5.3.2 Tratamientos y diseño experimental	24
5.3.3. Siembra.....	27
5.3.4. Riego.....	27
5.3.5. Control de malezas y MIP	28
5.4 Tratamientos evaluados	28
5.4.1 Aplicación de los biofertilizantes	28
5.6 Variables evaluadas.....	29
5.6.1 Días a floración.....	29
5.6.2 Altura promedio de planta	29
5.6.3 Total de plantas cosechadas	30

5.6.4 Área Foliar.....	30
5.6.5 Número de mazorcas por planta	30
5.6.6 Número promedio de granos por mazorca	30
5.6.7 Longitud de mazorca	31
5.6.8 Rendimiento de grano del maíz	31
5.7 Análisis estadístico	32
VI. RESULTADOS Y DISCUSION	33
6.1 Variables evaluadas.....	35
6.1.1 Días a floración del cultivo.....	35
6.1.2 Altura de la planta.....	36
6.1.3 Área Foliar.....	38
6.1.4 Número promedio de mazorcas por planta.....	39
6.1.5 Longitud de Mazorca.....	40
6.1.6 Plantas cosechadas.....	42
6.1.7 Número promedio de granos por mazorca	43
6.1.8 Rendimiento del grano.....	44
VII. CONCLUSIONES	46
VIII. RECOMENDACIONES.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del área de estudio	22
Figura 2 Distribución espacial de los tratamientos en el ensayo.....	24
Figura 3. Promedio de precipitación (mm) diaria durante la investigación	34
Figura 4. Altura promedio de cada tratamiento evaluado.....	37
Figura 5. Promedio de área foliar de los tratamientos evaluados	38
Figura 6. Promedio de mazorcas por planta en cada tratamiento evaluado.....	40
Figura 7. Promedio de longitud de mazorca encontrada en los tratamientos evaluados	41
Figura 8. Promedio encontrado en granos por mazorca en los tratamientos evaluados	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Promedio de días a floración de cada tratamiento evaluado.....	36
Tabla 2 Rendimiento obtenido por tratamiento	45

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos.....	28
---	----

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Prueba estadística para la variable de altura con un rango de 5.	55
Anexo 2: Prueba estadística para la variable de granos con un rango de 5.....	55
Anexo 3: Prueba estadística para la variable de Área foliar con un rango de 5.....	56
Anexo 4: Prueba estadística para la variable Rendimiento kg/ha con un rango de 5.	56
Anexo 5: Prueba estadística para la variable de altura con un rango de 10.	¡Error!
Marcador no definido.	
Anexo 6: Prueba estadística para la variable de granos con un rango de 10.....	57
Anexo 7: Prueba estadística para la variable de Área foliar con un rango de 10.....	58
Anexo 8: Prueba estadística para la variable Rendimiento kg/ha con un rango de 10.	58
Anexo 9: Análisis de suelo realizado en el sitio de estudio.	59
Anexo 10. Enfermedad causada por el hongo <i>Fusarium</i>	60

REQUENO, 2025. Biofertilizantes como alternativa al uso de fertilizantes químicos sintéticos en la producción sostenible de maíz (*Zea mays*). **Tesis.** Ingeniería en Gestión Integral de los Recursos Naturales, Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho, Honduras.

RESUMEN

El presente estudio evaluó la viabilidad de los biofertilizantes como alternativa a los fertilizantes químicos sintéticos en la producción sostenible de maíz (*Zea mays*) en la Estación Experimental Raúl René Valle de la Universidad Nacional de Agricultura, en Catacamas, Olancho, Honduras. Se compararon cinco tratamientos, incluyendo un testigo absoluto sin fertilización externa, un testigo comercial con fertilizante químico, tratamientos con dosis bajas y altas de biofertilizantes, y un tratamiento mixto. Los resultados revelaron que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para variables clave como el área foliar, número de mazorcas por planta y el rendimiento del grano el tratamiento testigo absoluto fue el que mostro obtuvo el mayor rendimiento debido al estado nutricional del suelo (de acuerdo con los resultados de análisis de suelo realizado). lo que evidencio la alta fertilidad natural de este.

Ellos no permitieron la expresión del potencial nutricional de los biofertilizantes bajo estudio. La investigación destaca que factores externos como la incidencia de hongo las condiciones de elevada de precipitación del periodo afectaron el desarrollo vegetativo y el rendimiento del cultivo de maíz.

Palabras clave: Biofertilizante, *Fusarium*, Fertilidad, Sostenibilidad

I INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroalimentarios sostenibles tienen la capacidad de responder a desafíos ambientales como la escasez de agua o el cambio climático. La FAO (2021) señala que estos sistemas contribuyen a mantener la seguridad alimentaria y mejorar los medios de vida en las zonas rurales. De forma complementaria, Vinh (2021) destaca la capacidad de estos sistemas para adaptarse y transformarse ante alteraciones, garantizando seguridad alimentaria para todos.

Reducir el uso de fertilizantes químicos sintéticos es fundamental para evitar la degradación del suelo y la contaminación del agua. López (2022) advierte sobre los impactos ambientales negativos causados por el uso excesivo de fertilizantes químicos sintéticos. Sánchez (2020) añade que estos insumos también afectan la salud humana cuando se emplean en exceso.

Los biofertilizantes, productos que contienen microorganismos beneficiosos para las plantas, se presentan como una alternativa viable para disminuir la dependencia de fertilizantes minerales y promover una agricultura sostenible. Rodríguez (2018) y Morales (2021) coinciden en que los biofertilizantes mejoran el crecimiento vegetal, aumentan la absorción eficiente de nutrientes y contribuyen a la regeneración del suelo.

El maíz *Zea mays*, uno de los cultivos más importantes globalmente, se beneficia del uso de biofertilizantes. Reyes et al. (2018) reportan que estos productos pueden incrementar el rendimiento y calidad del cultivo. Asimismo, Luna et al. (2021) evidencian un impacto positivo en el rendimiento cuando se combinan con prácticas sostenibles de manejo agrícola.

Este estudio evaluó cuatro biofertilizantes (BIOSOL PLUS, BIOROOT, BIOCALCIO BORO y BIOENGORDE) frente a fertilización química sintética en la producción local de maíz. Los resultados no mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para ninguna de las variables bajo estudio. El testigo absoluto, sin fertilización externa, alcanzó el mayor rendimiento promedio (7,278.80 kg/ha) y la mayor altura de planta. Por otro lado, los tratamientos con dosis bajas de biofertilizantes registraron mayores áreas foliares y un número superior de granos por mazorca.

Estos hallazgos sugieren que la alta fertilidad natural del suelo fue el principal factor que influyó en la productividad del cultivo. Los diferentes tratamientos con biofertilizantes mostraron un desempeño similar, lo que subraya la importancia de evaluar la nutrición del suelo antes de implementar un programa de fertilización.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar el desempeño de biofertilizantes como alternativa al uso de fertilizantes químicos sintéticos en la producción sostenible de maíz en la Universidad Nacional de Agricultura.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar la eficiencia de los biofertilizantes BIOSOL PLUS, BIOROOT, BIOCALCIO BORO y BIOENGORDE en la producción de maíz.
- Estimar el efecto positivo de los biofertilizantes en la promoción del crecimiento y las variables de rendimiento en el cultivo de maíz ,en comparación con la fertilización a base de productos químicos de síntesis.

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1 Sistemas de producción agroalimentaria sostenibles

La producción agrícola sostenible busca incorporar estrategias de gestión ecológicamente racionales en las prácticas agrícolas, reduciendo la necesidad del uso excesivo de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, al tiempo que se producen mayores rendimientos. Un sistema alimentario sostenible es aquel que garantiza la seguridad nutricional y dietética de todos, sin poner en peligro las bases económicas, sociales y ambientales para las generaciones futuras (OMS y FAO 2018).

En la búsqueda de prácticas agrícolas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, los biofertilizantes han surgido como una solución prometedora. Estos productos naturales, derivados de organismos vivos y sus subproductos, se han convertido en una alternativa ecológica y efectiva para mejorar la calidad del suelo y promover el crecimiento saludable de las plantas (Rodríguez, 2018).

Algunas de ellas son las siguientes: se debe conocer a los agricultores sobre los que se intenta influir; los instrumentos deben ser simples; hay que proporcionar apoyo complementario, como por ejemplo asistencia técnica para que la adaptación de nuevas prácticas agrícolas sea más accesible y sostenible; se debe pensar en un horizonte de largo plazo, ya que puede pasar mucho tiempo antes de que existan efectos económicos y ambientales medibles. La adopción de prácticas agrícolas sostenibles es clave para los sistemas agroalimentarios de América Latina y el Caribe, debido a sus contribuciones estratégicas no solo a los objetivos de desarrollo de la región, sino también, y de manera significativa, del mundo (IICA 2019).

4.2. Biofertilizantes

El término "biofertilizante" tiene una interpretación muy amplia, abarcando desde microorganismos hasta algas verdes y marrones y extractos de plantas. De manera sintetizada, se puede decir que son productos que incluyen microorganismos que, al ser inoculados, pueden vivir en asociación o en simbiosis con las plantas, ayudando en su protección y nutrición (Vessey, 2003). Estos microorganismos se encuentran de forma natural en el suelo y abarcan diversos grupos; sin embargo, su población es afectada por el manejo de suelo y uso excesivo de agroquímicos.

El-Ghamry *et al.* (2018), definen el término como extractos de algas marinas, basura urbana compostada, combinaciones microbiológicas con ingredientes desconocidos o productos fertilizantes minerales aumentados con productos químicos orgánicos que identifiquen fácilmente los biofertilizantes. Curiosamente, las investigaciones realizadas por los científicos proporcionan una definición bastante amplia de este término, que abarca desde extractos de plantas hasta estiércoles de animales y otros.

Aunque no se conocía la existencia de las bacterias, hasta que en 1683 Von Leewenhoek las describió, su utilización para estimular el crecimiento de las plantas se remonta siglos atrás. Teofrasto (287 a.C.) y Virgilio (30 a.C.) sugerían mezclar el suelo donde se habían cultivado leguminosas con suelo donde no se habían cultivado, para remediar sus defectos y adicionarle fuerza (Tisdale y Nelson, 1975).

4.2.1 ¿Por qué utilizar Biofertilizantes?

Comparte muchos procesos importantes con los microorganismos como el caso del Nitrógeno y/o mediante el transporte de P y K con los hongos micorrícicos, pero en ambos casos la energía utilizada deriva del proceso fotosintético de las plantas.

En varias áreas tropicales, el uso de biofertilizantes en cultivos básicos ha producido resultados satisfactorios, ya que, al inocularlos a la semilla, favorecen la velocidad de toma de nutrimentos de las plantas por efecto directo en las raíces, y también realizan la absorción de estos (Aguirre y Velasco 1994).

Además, permiten reducir hasta la mitad el uso de fertilizantes sintéticos, fundamentalmente el nitrógeno, fósforo y potasio. Al reducir la fertilización química disminuye también los costos de producción de maíz, se aprovecha el fósforo y potasio nativo del suelo, y se reduce el efecto acidificante de los fertilizantes nitrogenados amoniacales (Carcaño et al. 2006).

Un estudio realizado por Reyes (2018), muestra que los mejores rendimientos de grano de maíz se obtuvieron con los tratamientos *Azospirillum brasilense* + fertilización química 160-46-30 con 5.97 t ha⁻¹ y con el tratamiento *Chromobacterium violaceum* + fertilización química 80-23-15, con 5.87 t ha⁻¹. El rendimiento más bajo se tuvo con el testigo absoluto. Los mayores beneficios netos se registraron al usar los tratamientos *Azospirillum brasilense* + *Chromobacterium violaceum* + fertilización química 160-46-30 y *Azospirillum brasilense* + fertilización química 160-46-30. Se concluye que el uso del biofertilizante *Azospirillum brasilense* representó un incremento de 27.98% (1.67 t ha⁻¹) en el rendimiento de grano y con un mayor beneficio neto con respecto al testigo absoluto.

En cambio, Salvador (2015) presenta resultados donde la aplicación del biofertilizante y 160 kg N ha⁻¹ incrementó la materia seca total durante el desarrollo del cultivo, pero no fue significativo para el rendimiento de grano. En cuanto al índice y duración de área foliar, el más alto fue con 80 y 160 kg N ha⁻¹, lo que ocasionó la mayor tasa de crecimiento del cultivo, pero no así en la tasa de asimilación neta. En relación a H-562, la más alta producción de materia seca total y rendimiento de grano fue con 160 kg N ha⁻¹, además de que incrementó el índice y duración de área foliar, que generó la más alta tasa de crecimiento del cultivo y asimilación neta.

4.2.2 Ventajas y beneficios de los biofertilizantes

Según lo que menciona Morales (2021), la principal ventaja es que los Biofertilizantes disminuyen el uso de fertilizantes químicos sintéticos. Esto les brinda un impacto ambiental positivo ya que no sólo permiten disminuir el uso excesivo de fertilizantes de síntesis, sino que también disminuyen el uso global de energía, debido a que producir una tonelada de amoníaco por medios químicos requiere un aproximado de siete barriles de petróleo, como fuente de energía para el proceso.

Los Biofertilizantes pueden mejorar la textura del suelo y se usan junto con fertilizantes químicos en un inicio. Incrementan la vida útil del suelo y lo mantiene en condiciones de cultivo, ya que hay una menor degradación de la tierra por pérdida de nutrientes, porque los ciclos biológicos de algunos biofertilizantes pueden reponer nutrientes.

También se mejoran la productividad de los cultivos y se pueden usar en la mayoría de los suelos. Pueden usarse para acondicionar o preparar tierras que tuvieron otros usos.

4.2.3 Prácticas sostenibles en acompañamiento a la aplicación de biofertilizantes

Las prácticas sostenibles en la aplicación de biofertilizantes son fundamentales para reducir el impacto ambiental y maximizar los beneficios para los cultivos. Díaz (2018), propone algunas de estas prácticas:

a. Selección de biofertilizantes adecuados

Es importante seleccionar el biofertilizante adecuado para el cultivo y la etapa de crecimiento en la que se encuentra. No todos los biofertilizantes son iguales, y algunos pueden ser más adecuados para ciertos cultivos o condiciones climáticas.

b. Dosificación adecuada

La dosificación excesiva de biofertilizantes puede ser contraproducente y tener efectos negativos en el suelo y el agua. Es importante seguir las instrucciones del fabricante y ajustar la dosificación según las necesidades del cultivo y el suelo.

c. Aplicación en el momento adecuado

El momento adecuado para la aplicación de biofertilizantes puede variar según el cultivo y las condiciones climáticas. Es importante aplicar los biofertilizantes en el momento en que el cultivo los necesita para maximizar sus efectos.

d. Rotación de cultivos

La rotación de cultivos puede mejorar la calidad del suelo y reducir la necesidad de biofertilizantes. Al alternar los cultivos, se pueden mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y reducir la acumulación de patógenos y enfermedades.

e. Uso de biofertilizantes junto con otras prácticas sostenibles

Los biofertilizantes pueden ser una parte importante de un enfoque más amplio de prácticas sostenibles en la agricultura. Esto puede incluir la gestión adecuada de los residuos, la conservación del agua y la biodiversidad, y la reducción del uso de plaguicidas y fertilizantes químicos.

f. Monitoreo y evaluación continua

Es importante monitorear y evaluar continuamente los efectos de los biofertilizantes en el suelo y el cultivo. Esto puede ayudar a ajustar la dosificación y la aplicación en función de las necesidades del cultivo y las condiciones ambientales.

La aplicación de prácticas sostenibles en la aplicación de biofertilizantes puede mejorar la salud del suelo, reducir el impacto ambiental y maximizar los beneficios para los cultivos.

4.3 Biofertilizantes a evaluar en esta investigación

BIOSOL PLUS: Es un biofertilizante completamente orgánico, con bacterias solubilizadoras de fósforo, macro y microelementos reforzados con nanopartículas, por su concentración este biofertilizante es muy recibido por los cultivos ya que les ayuda en su crecimiento, desarrollo de planta como de cultivo, de la misma manera es de mucha ayuda para el suelo, sus momentos de aplicación se dan en todas las etapas fenológicas del cultivo, con intervalos de aplicación de 10 días, con una dosis en suelo de 2-3 gal/ha en cambio al área foliar de 2-3 litros/ha.

BIOROOT: por su formulación es excelente enraizador, dando como resultado una excelente germinación se genera una buena cantidad de raizado lo cual ayuda a la absorción de nutrientes, así mismo regenera el suelo y previene enfermedades edáficas, mientras que en su aplicación se recomienda usar el producto como enraizador, dos aplicaciones con intervalos de 8 días luego de que la plántula tenga dos hojas verdaderas, las dosis adecuadas en el suelo son de 2-3 galones/ha y en el área foliar de 2/4 litros/ha.

BIOCALCIO BORO: Biofertilizante formulado para ayudar a la síntesis de las paredes celulares y viabilidad del polen, lo que asegura mejor desarrollo de los frutos, así mismo contiene bacterias que ayudan a la regeneración del suelo y nanopartículas que corrigen diferencias de boro y calcio su aplicación es en el área foliar de la planta, se recomienda usar al inicio de floración y fructificación, hacer 3 aplicaciones con intervalos de 5 días, sus dosis al suelo son de 1-2 galón/ha y en el área foliar de 2-3 litros/ha

BIOENGORDE: Producido especialmente para ayudar a la formación de los frutos, mejorando la calidad, tamaño y mejora de producción, incluyendo nanopartículas que lo hacen asimilable para las plantas, producto ideal para cualquier cultivo mediante aplicaciones foliares, ferrigacion y drech, se recomienda usar el inicio de la fuctificacion, y es recomendable hacer las aplicaciones que sean necesarias con intervalos de 8 días, con una dosis al suelo de 1-3 galones/ha y al área foliar de 2-4 litros/ha (AGROrgánicos S. de R.L de CV. s. f.)

4.4 Fertilizantes químicos de síntesis, ¿Un riesgo para el medio ambiente?

Si bien las plantaciones agrícolas reciben nutrientes de los fertilizantes químicos de síntesis, su uso excesivo puede ser carcinogénico para el medio ambiente y para los consumidores, debido a que el exceso de nutrientes contamina el agua y el suelo.

López (2022) menciona que la demanda por alimentos crece a medida que la población global se incrementa, y los fertilizantes de síntesis se han vuelto un elemento esencial para aumentar la productividad agrícola. Sin embargo, su uso excesivo provoca la degradación del suelo, la liberación de gases de efecto invernadero y la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

Los fertilizantes son sustancias que se utilizan en la agricultura para enriquecer el suelo y mejorar la calidad de los cultivos. Estos productos contienen nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, que son necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas. En la agricultura moderna, los fertilizantes se han convertido en un elemento indispensable para maximizar la productividad de los cultivos y obtener mayores rendimientos. Además, permiten reducir el tiempo de crecimiento de las plantas y mejorar su calidad, lo que se traduce en una mayor rentabilidad para los agricultores (Sánchez 2020).

Sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes puede tener causas y consecuencias negativas para el medio ambiente y la salud humana. El excedente de nutrientes puede contaminar las aguas subterráneas y superficiales, provocando la proliferación de algas y otros organismos que consumen el oxígeno del agua y generan zonas muertas (Sánchez 2020).

4.4.1 Consecuencias de la degradación del suelo por el uso excesivo de fertilizantes químicos de síntesis

Romero (2021), menciona una de las principales consecuencias de la degradación del suelo por el uso excesivo de fertilizantes químicos, es la pérdida de la fertilidad del suelo. Los fertilizantes químicos pueden alterar el equilibrio natural del suelo, disminuyendo la cantidad de microorganismos beneficiosos y nutrientes esenciales que necesitan las plantas para crecer. Esto puede llevar a una disminución en la calidad y cantidad de los cultivos, lo que a su vez puede afectar la producción y los ingresos de los agricultores. Otra consecuencia es la contaminación del agua y del aire. Los fertilizantes químicos pueden filtrarse en los ríos y acuíferos cercanos, contaminando el agua y afectando la salud de los ecosistemas acuáticos. Además, los fertilizantes químicos pueden emitir gases tóxicos y partículas finas en el aire, lo que puede afectar la salud de las personas y la calidad del aire.

4.4.2 Contaminación del agua

Los fertilizantes de síntesis afectan negativamente la calidad del agua. Según FAO/CEPE (2020), se citan los siguientes problemas:

- La fertilización de las aguas superficiales (eutrofización) da lugar, por ejemplo, al crecimiento explosivo de algas, que ocasiona trastornos en el equilibrio biológico. Así ocurre tanto en las aguas continentales (acequias, ríos, lagos) como costeras.

- El agua subterránea se contamina fundamentalmente por la presencia de nitratos. En todos los países el agua subterránea es una reserva importante de agua potable. En varias zonas, este recurso hídrico está contaminado hasta el punto de que ya no reúne las condiciones establecidas en las normas actuales para el consumo humano.

4.4.3 Efectos sobre la salud humana

Sánchez (2020), menciona que el uso excesivo de fertilizantes puede tener efectos negativos en la salud humana. Algunos estudios han demostrado que la exposición a ciertos químicos presentes en los fertilizantes puede aumentar el riesgo de enfermedades como el cáncer y los problemas reproductivos. Además, la contaminación del agua con nitratos y otros nutrientes puede provocar la aparición de enfermedades gastrointestinales y otros problemas de salud.

Es importante destacar que existen alternativas más saludables y sostenibles para la agricultura, como el uso de fertilizantes orgánicos y prácticas agrícolas más amigables con el medio ambiente. Estas opciones pueden garantizar la seguridad alimentaria y la protección del medio ambiente sin poner en riesgo nuestra salud (Lara 2021).

4.4.4 Incremento peligroso de los microorganismos

Los fertilizantes químicos ricos en nitrógeno pueden tener el efecto contrario a los fertilizantes más ácidos. Y esto tampoco es positivo para los suelos. Demasiado nitrógeno incrementa el número de microorganismos. En caso de que su población sea excesiva, estos seres dañarán a las plantas en lugar de ayudarlas. Esto se debe a que consumen toda la materia orgánica y nutrientes del lugar (Ruiz 2022).

Una de las prácticas agrícolas más comúnmente empleadas es la fertilización química, que produce beneficios marcados en las plantas debido al aumento en la disponibilidad de

nutrientes que produce. Sin embargo, poco se conoce acerca del efecto que provocan los fertilizantes en la dinámica de las poblaciones microbianas. Según algunos autores, los fertilizantes provocan modificaciones en las poblaciones de hongos y bacterias en el suelo (Conforto 2018), mientras que otros investigadores no han encontrado diferencias en la respuesta de los microorganismos ante la fertilización (Clegg 2006).

4.4.5 Suelos ácidos

Los suelos también pueden resultar estériles por el aumento de acidez que los fertilizantes químicos provocan. Esto es porque muchos de ellos incorporan ácido sulfúrico y clorhídrico. Si se utilizan en exceso, pueden afectar negativamente a los microorganismos y al pH del suelo (y, por ende, al desarrollo de las plantas) (Moreno et al. 2011).

Esto puede reducir la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, lo que a su vez puede afectar negativamente el crecimiento de las plantas y la calidad del suelo. Otro aspecto importante es la pérdida de biodiversidad en el suelo. El uso intensivo de fertilizantes puede promover el crecimiento indiscriminado de ciertas especies, desplazando a otras más delicadas y reduciendo la diversidad biológica en el suelo. Esto puede tener un impacto negativo en la salud y el equilibrio del ecosistema (Hernandez 2023)

4.5 Biofertilizantes como alternativa para la agricultura sostenible

La demanda de alimentos está aumentando con el aumento de la población mundial, y los fertilizantes se están convirtiendo en una parte cada vez más importante del aumento de la producción agrícola. Sin embargo, su excesiva aplicación podría conducir al deterioro del suelo, la liberación de gases de efecto invernadero y la contaminación de fuentes de agua superficiales y subterráneas (Piotrowski y Rilig 2008).

Un estudio publicado en la *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* reflexiona sobre la situación actual del uso de biofertilizantes en México y su potencial para contribuir a la

seguridad alimentaria de manera sostenible. Los autores destacan que, aunque la agricultura mexicana ha evolucionado significativamente, la dependencia de fertilizantes sintéticos ha llevado a costos económicos, ambientales y sociales elevados, en este contexto, los biofertilizantes se presentan como una alternativa viable para promover prácticas agrícolas más sostenibles (Molina et al. 2020).

A nivel mundial, la aplicación de microorganismos beneficiosos en las prácticas agrícolas comenzó hace más de sesenta años, una práctica que ha sido objeto de una investigación intensiva en las últimas décadas. Hay un aumento de la evidencia de que las poblaciones microbianas beneficiosas pueden aumentar la resistencia de las plantas a las condiciones ambientales adversas como la deficiencia de nutrientes (Aguilar 2007).

En este aspecto, cuando se integra de manera adecuada con otras tecnologías, la biotecnología proporciona herramientas para cumplir con este cometido. El biofertilizante es una sustancia que contiene microorganismos beneficiosos del suelo, frecuentemente mutualistas, que pueden estimular el crecimiento de las plantas y disminuir el uso de insumos. Estos microorganismos pueden aplicarse a las semillas, las superficies de las plantas o al suelo, y pueden colonizar la rizósfera o el interior de estas, lo que puede estimular el crecimiento vegetal (Vessey 2003).

4.6. Biofertilizantes aplicados en cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

El uso de biofertilizantes en el cultivo de maíz ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar el rendimiento y promover prácticas agrícolas más sostenibles. Los biofertilizantes, que contienen microorganismos beneficiosos como bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrízicos, facilitan la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos y disminuyendo el impacto ambiental (Reyes et al. 2018).

Evidencia de estudios recientes:

Biofertilización y fertilización química en maíz: Un estudio realizado en Villaflores, Chiapas, México, evaluó el efecto de los biofertilizantes *Azospirillum brasilense* y *Chromobacterium violaceum*, solos y combinados con fertilización química, en la producción de maíz. Los resultados mostraron que la combinación de *A. brasilense* con una fórmula de fertilización química (160-46-30 de N-P-K) alcanzó un rendimiento de grano de 5.97 t/ha, superando al testigo sin fertilización, que obtuvo 4.30 t/ha. Esto representa un incremento del 27.98% en el rendimiento, evidenciando la eficacia de los biofertilizantes en la mejora de la productividad del maíz (Reyes et al. 2018).

Efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre el rendimiento de maíz: Otro estudio en Chiapas, México, analizó la aplicación de hongos micorrízicos y fertilizantes orgánicos foliares en parcelas con y sin cultivo de cobertura. Se encontró que la inoculación con micorrizas incrementó significativamente el rendimiento del maíz, especialmente en parcelas con antecedentes de cultivo de cobertura, alcanzando hasta 4,213.7 kg/ha. Este resultado destaca la sinergia entre los biofertilizantes y las prácticas de manejo sostenible en la agricultura (Luna et al. 2021).

4.7 Generalidades del cultivo del maíz (*Zea mays* L.)

De acuerdo con la FAO (1993), el maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes del mundo y el grano de mayor utilización en la industria. Ocupa el tercer lugar en el mundo entre los cereales de mayor producción, solamente superado por el trigo y el arroz. Durante los últimos 25 años, la producción de maíz ha aumentado sistemáticamente (INTA 2004).

Según Buxadé *et al.* (2009), la temperatura ideal para el desarrollo del cultivo del maíz oscila entre 13 y 30 °C, con un pH ácido, suelos de textura media. Según el INTA (2004), la prueba de germinación se realiza homogenizando las semillas que se van a sembrar y extrayendo 100 semillas de lugares diferentes. Estas se siembran, se riegan diario y a los 5-7 días se cuentan las plantas que tengan la primera hoja y la raíz, se evalúa el porcentaje de germinación el cual es considerado óptimo al 85 %. La variedad NB6 de maíz en Honduras se produce mediante un proceso de mejoramiento genético y manejo agrícola:

En Honduras, la siembra se realiza en condiciones adecuadas, prestando atención a la preparación del suelo, la fertilización y el riego. La rotación de cultivos y el manejo integrado de plagas son prácticas comunes. El maíz se cosecha cuando alcanza su madurez, es crucial hacerlo en el momento adecuado para maximizar el rendimiento y la calidad del grano. Seguidamente después de la cosecha, el maíz se seca y se almacena correctamente para evitar pérdidas por plagas o enfermedades. Luego se evalúa la calidad del maíz para asegurarse de que cumpla con los estándares del mercado y las necesidades de los consumidores (García 2022).

El maíz o *Zea mays* es un cereal, una planta gramínea americana, que se caracteriza por tener tallos largos y macizos (y no huecos como sus parientes más cercanos) al final de los cuales se dan espigas o mazorcas (inflorescencias femeninas), con sus semillas o granos de maíz dispuestos a lo largo de su eje, también se llama maíz (o choclo) a dichas mazorcas e incluso a sus granos una vez extraídos. Se considera una fuente alimenticia sumamente popular, sobre todo en el continente americano, que suele molerse para hacer harinas y elaborar diversos platos con ellas, desde arepas hasta tortillas. Se emplea también como alimento para animales y como insumo para la obtención de biocombustibles (Etecé 2018).

Félix (2021), menciona que la planta del maíz pertenece a la familia de las poáceas o gramíneas, con un ciclo anual y tallos resistentes y erectos, que pueden alcanzar los dos metros y medio de altura. Esta planta se caracteriza por tener dos tipos de raíz, las primarias y fibrosas que van bajo tierra, y las adventicias que brotan del primer nudo de la planta y son

superficiales. Ambas permiten que se mantenga erguido el largo tallo. Este tallo está compuesto a su vez por tres capas: una epidermis impermeable y transparente, una pared vegetal por la que circula la savia y una médula de tejido esponjoso y blanco en donde se almacenan los azúcares.

Las hojas son generalmente lanceoladas, largas y finas, alcanzando los 120 centímetros de longitud y los 9 centímetros de ancho. Las inflorescencias son las “flores” de la planta, distintas según el sexo de la misma: masculinas que son llamadas panícula, panoja, espiga o miahuatl, consisten en un eje central y ramas laterales, en donde brotan florecillas que poseen tres estambres cada una, en donde se produce el polen necesario para fecundar a las hembras. Femeninas que son llamadas mazorcas, son espigas cilíndricas dotadas de flores en hileras paralelas, provistas de ovarios en los que el polen germina, produciéndose así las semillas o granos que, al estar maduros, adquieren una textura bulbosa y coloración uniforme, siendo comestibles.

4.7.1 Etapas fenológicas del maíz

Ciampitti et al, (2011), mencionan que el maíz (*Zea maíz*) posee 15 etapas fenológicas, de las cuales se agrupan en 2 fases vegetativas y reproducción:

La etapa vegetativa, VE- Emergencia: esta etapa ocurre cuando se pueden observar las primeras hojas a las que se le llama Coleóptilo, la semilla absorbe un 30% de su peso en agua y oxígeno para germinar, la raíz emerge de la punta del grano y dependiendo de la humedad del suelo y de las temperaturas el tiempo de la germinación puede variar, el coleóptilo surge del embrión del grano. Las temperaturas aptas ideales para el suelo son de 10 a 12 °C y las condiciones de humedad promueven una emergencia rápida de 5 a 7 días.

V1- Primera hoja: Una hoja con cuello visible, estructura que se encuentra en la base de la hoja. La primera hoja de maíz tiene una punta redondeada. Desde este punto hasta la floración (etapa R1), las etapas de las hojas están definidas por la hoja superior con cuellos visibles.

V2- Segunda hoja: Las raíces nodales comienzan a emerger bajo tierra. Las raíces seminales comienzan a envejecer. Es poco probable que las heladas dañen las plántulas de maíz, a menos que haga mucho frío o que el maíz se sembró superficialmente.

V4- Cuarta hoja: Las raíces nodales son dominantes y ocupan más volumen de suelo que las raíces seminales. Las hojas están aún en desarrollo en el meristemo apical (crecimiento primario de la planta).

V6- Sexta hoja: La primera hoja con la punta redondeada es senescente; tenga en cuenta este punto al contar las hojas. El punto de crecimiento emerge por encima de la superficie del suelo. Se inician todas las partes de la planta. En algún momento entre V6 y V10, se determina el número potencial de filas (circunferencia de la oreja).

V10- Diez hojas: Las raíces de anclaje comienzan a desarrollarse en los nodos inferiores de las plantas sobre el suelo. Hasta esta etapa, la tasa de desarrollo de la hoja es de aproximadamente 2 a 3 días por hoja, Las demandas de nutrientes (NPK) y agua para el cultivo son altas. El calor, la sequía y las deficiencias de nutrientes afectarán el número potencial de granos y el tamaño de la mazorca.

V14- Catorce hojas: Crecimiento rápido. Esta etapa ocurre aproximadamente dos semanas antes de la floración. Muy sensible al estrés por calor y sequía. De cuatro a seis hojas adicionales se expandirán desde esta etapa hasta VT.

VT: En esta etapa se establecen los granos potenciales por fila, se determina el número final de granos potenciales (número de óvulos) y el tamaño potencial de la mazorca. La última rama de la panoja es visible en la parte superior de la planta. La planta está casi en su altura máxima, y la demanda de nutrientes y agua está cerca del máximo.

R1: La floración comienza cuando se ve los pelos de elotes fuera de las cáscaras. Los primeros estigmas que emergen de las hojas de la cáscara son los que se adhieren a los granos potenciales cerca de la base de la mazorca. Los pelos permanecen activos hasta que son polinizados.

R2: Los pelos se oscurecen y comienzan a secarse (aproximadamente 12 días después de R1). Los granos son blancos y tienen forma de ampolla y contienen un líquido claro. Los granos tienen aproximadamente un 85 % de humedad; los embriones se desarrollan en cada grano. La división celular está completa. Comienza el llenado de granos

R3: Los pelos se secan (aproximadamente 20 días después de R1). Los granos son amarillos y se puede exprimir un líquido parecido a la leche de los granos cuando se aplastan entre los dedos. Este fluido es el resultado del proceso de acumulación de almidón.

R4: El material almidonado dentro de los granos tiene una consistencia similar a la de una masa (aproximadamente 26 a 30 días después de R1). Se produce una rápida acumulación de almidón y nutrientes; los granos tienen un 70% de humedad y comienzan a llenarse en la parte superior. El material exprimido del grano tiene una consistencia pastosa.

R5: El llenado de grano es casi total. La humedad del grano se reduce a aproximadamente un 55 % (38 a 42 días después de R1) a medida que aumenta el contenido de almidón.

R6- Madurez: Se forma una capa negra en la base del grano, bloqueando el movimiento de materia seca y nutrientes de la planta al grano (50 a 60 días después de R1). Los granos alcanzan el peso seco máximo (30 a 35% de humedad) y están. El grano no está listo para un almacenamiento seguro. Las heladas o cualquier estrés biótico o abiótico no afectan los rendimientos después de esta etapa de desarrollo. El acame debido a enfermedades, daños por insectos o granizo puede provocar una pérdida física del rendimiento.

4.7.2 Maíz en Honduras

En Honduras, el maíz es un componente principal de la dieta, contribuyendo con un 26% de las calorías consumidas en las principales ciudades y con un 48% de las calorías en el sector rural. En términos del Producto Interno Bruto (PIB) agrícola nominal, el maíz aporta el 19.1%¹. Sin embargo, el rendimiento del cultivo de maíz ha experimentado fluctuaciones. Por ejemplo, en 2015, el rendimiento del maíz disminuyó en un 33.1% en comparación con lo producido en 2014, lo que se traduce en una disminución de 193,884 toneladas métricas. Esta disminución se debió a condiciones climáticas. Es importante tener en cuenta que estos datos pueden variar año tras año debido a diversos factores como las condiciones climáticas, las prácticas agrícolas y las políticas gubernamentales (Cruz et al. 2017).

En 2023, se produjeron un total de 16 millones de quintales de maíz. El Gobierno de Honduras, a través de la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) y la Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA), promueven iniciativas encaminadas a impulsar la producción sostenible de cereales básicos, contribuyendo a la seguridad alimentaria y a la creación de empleos en el sector agrícola. A pesar de la tendencia decreciente en la producción de maíz durante la última década, se registró un incremento significativo de aproximadamente 1 millón de quintales en el último período de siembra. En este sentido, se espera un aumento este año mediante los diferentes programas e incentivos a los productores nacionales (Ramírez 2024).

4.7.3 Enfermedades que pueden llegar a afectar al Maíz

Dentro de las enfermedades se pueden encontrar: achaparramiento, cabeza loca (*Peronosclerospora sorghi*), mancha de asfalto (*Phyllacora maydis*), pudrición de la mazorca (*Stenocarpela maydis*), pudrición de la base del tallo (*Erwinia* sp), mancha café o peca (*Physoderma maydis*), tizón foliar (*Cochliobolus heterostrophus*) los insectos y enfermedades más comunes en el cultivo de maíz son: gallina ciega (*Phyllophaga* sp), falso alambre (*Epitragus sallei*), coralillo (*Elasmopalpus ignorosellus*), cogollero (*Spodoptera*

frugiperda), chicharrita del maíz (*Dalbulus maydis*), langosta medidora (*Mocis latipes*), araña roja (*Oligonychus* spp), barrenador del tallo (*Diatraea* sp), elotero (*Helicoverpa zea*). En áreas de pequeña extensión, para el control de las arvenses se recomienda hacer de manera mecánica y evitar el uso de químicos (INTA 2004).

V. MATERIALES Y METODOS

5.1 Descripción del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en la estación experimental Raúl Rene Valle dentro de las instalaciones de la Universidad Nacional de Agricultura, la cual está ubicada en el Barrio El Espino en Catacamas, Olancho. La ciudad de Catacamas está situada entre los ($14^{\circ}; 54', 04''$), latitud Norte y ($85^{\circ}; 55', 31''$), el sitio cuenta con una altura de 360 msnm y la precipitación anual promedio alcanza los 845 mm (Accuweather 2024).

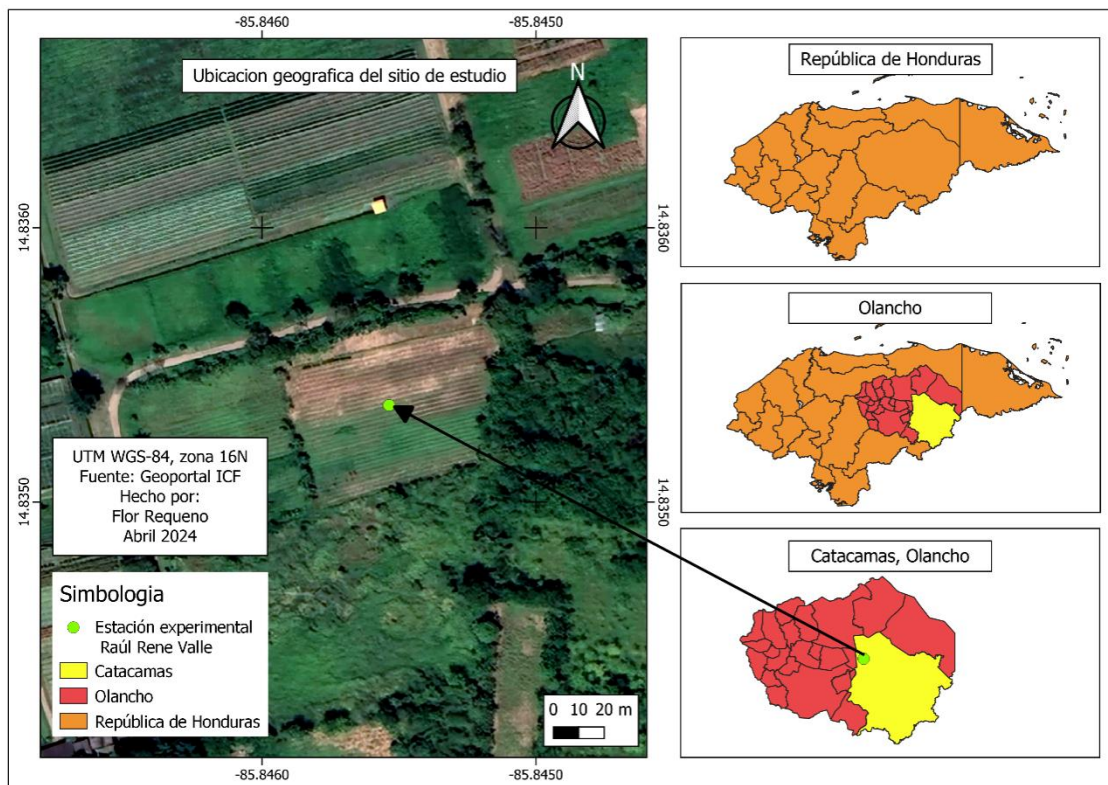


Figura 1 Ubicación del área de estudio

5.2 Materiales y equipo

Los materiales y equipo que se utilizaron para realizar el trabajo de investigación fueron: azadón, machete, rastrillos, cinta métrica, balanza, calculadora, libreta de campo, estacas, cabuya, computadora, sistema de riego, balanza, bomba de mochila, equipo meteorológico, biofertilizantes, semilla, fertilizante utilizado por el productor local.

5.3. Métodos

5.3.1 Preparación del terreno

Se eligió un lote que pertenece a la Universidad Nacional de Agricultura, donde se llevó a cabo una limpieza con los equipos correspondientes. Después se llevó a cabo la preparación del terreno y el levantamiento de los surcos, que tenían una longitud de 10 metros con una distancia de 1.5 metros entre cada uno. En total, se establecieron cinco surcos, uno para cada tratamiento, que abarcaron una superficie aproximada de 75 metros cuadrados (0.0075 hectáreas). En el experimento, se utilizaron microorganismos de montaña a un intervalo de 7 galones por hectárea, ajustado a el área del ensayo se aplicó 0.052 galones/ha mediante la bomba de mochila, con el objetivo de preparar el suelo y promover una actividad microbiana apropiada antes de la aplicación de los biofertilizantes.

Previo a la aplicación de microorganismos de montaña, se realizó un análisis de suelo, para este se utilizó un muestro aleatorio, tomando seis muestras, que fueron enviadas al laboratorio de la UNAG para su análisis e interpretación.

5.3.2 Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron cinco tratamientos en un diseño en Bloques completos al azar (DBCA), se utilizaron 4 biofertilizantes (BIOSOL PLUS, BIOROOT, BIOCALCIO BORO, BIOENGORDE), cada uno se aplicó en diferentes tiempos que coinciden con las etapas fenológicas del cultivo y se hizo uso de un fertilizante sintético (12-24-12) correspondiente al testigo comercial o relativo (en el cual se aplicó la cantidad de fertilizante sintético que aplica el productor local) y el testigo absoluto, al cual no se le agregó ningún nutriente externo. Se utilizaron cuatro repeticiones por cada tratamiento, para un total de 20 parcelas experimentales, como se muestra a continuación en la figura 2.

T1	T2	T3	T4	T5
T2	T5	T4	T1	T3
T5	T1	T2	T3	T4
T4	T3	T5	T2	T1

Figura 2 Distribución espacial de los tratamientos en el ensayo.

Composición de los biofertilizantes utilizados

BIOSOL PLUS

COMPUESTO	UNIDAD	COMPUESTO	UNIDAD
Materia Orgánica	2.9%	Sodio (Na)	439 mg/kg
Nitrógeno	0.19%	Manganeso (Mn)	1122 mg/kg
Fosforo	0.05%	Cobre (Cu)	1mg /kg
Potasio	0.50%	Hierro (Fe)	233mg/kg
Calcio (Ca)	0.24%	Zinc (Zn)	1400 mg/kg
Magnesio (Mg)	0.17%	Boro (B)	1131 mg/kg
Azufre (S)	2.42mg/kg	Bacterias <i>Bacillus spp.</i>	1x10 ⁵ UFC/ml
Levaduras	8.5x10 ⁴ UFC/ml		

BIOROOT

COMPUESTO	UNIDAD	COMPUESTO	UNIDAD
Materia Orgánica	2.8%	Sodio (Na)	342 mg/kg
Nitrógeno	0.15%	Manganeso (Mn)	117 mg/kg
Fosforo	0.06%	Hierro (Fe)	244 mg/kg
Potasio	0.29%	Zinc (Zn)	6328 mg/kg
Calcio (Ca)	0.20%	Boro (B)	122 mg/kg
Magnesio (Mg)	0.01%	Bacterias <i>Bacillus spp.</i>	1x10 ⁵ UFC/ml
Azufre (S)	0.18mg/kg		
Levaduras	1.5x10 ³ UFC/ml		

BIOCALCIO BORO

COMPUESTO	UNIDAD	COMPUESTO	UNIDAD
Materia Orgánica	3.3%	Sodio (Na)	738 mg/kg
Nitrógeno	0.17%	Manganeso (Mn)	32 mg/kg
Fosforo	0.05%	Hierro (Fe)	226 mg/kg
Potasio	0.31%	Zinc (Zn)	53 mg/kg
Calcio (Ca)	0.17%	Boro (B)	2519 mg/kg
Magnesio (Mg)	0.32%	Bacterias <i>Bacillus spp.</i>	7.8x10 ⁷ UFC/ml
Azufre (S)	3.01mg/kg		
Levaduras	3.2x10 ⁶ UFC/ml		

BIOENGORDE

COMPUESTO	UNIDAD	COMPUESTO	UNIDAD
Materia Orgánica	2.8%	Sodio (Na)	356 mg/kg
Nitrógeno	0.14%	Manganeso (Mn)	1005 mg/kg
Fosforo	0.04%	Azufre (S)	3.03 mg /kg
Potasio	1.21%	Hierro (Fe)	118 mg/kg
Calcio (Ca)	0.10%	Zinc (Zn)	82 mg/kg
Magnesio (Mg)	0.01%	Boro (B)	965 mg/kg
Azufre (S)	3.03 mg/kg	Bacterias <i>Bacillus spp.</i>	1x10 ⁵ UFC/ml
Levaduras	3.0x10 ⁴ UFC/ml		

El modelo lineal que define a un diseño de bloques completos al azar es el siguiente:

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

Donde cada constante es representada:

Y_{ij} = respuesta observada con el tratamiento i en el bloque

M = media general

T_i = efecto del tratamiento i ; $i=1, 2, t$

B_j = efecto del bloque j ; $j=1, 2, r$

E_{ij} = término de error asociado al tratamiento i en el bloque j

5.3.3. Siembra

Esta se realizó en el mes de marzo y se hizo de forma convencional, utilizando camas con un distanciamiento de 1.50 metros de centro a centro, de 10 metros de largo. Se realizó la siembra de dos semillas por postura a una separación de 40 cm entre cada una, siendo 40 posturas por parcela, 80 plantas por cada cama.

Se utilizó la variedad de maíz capulín, que tiene un ciclo reproductivo de 90 días, es decir semi precoz, con grano de color blanco. Este material genético es originario de la zona sur de Honduras, sur de Francisco Morazán, en el municipio de Curarén. (comunicación personal Ing. Gustavo López, UNAG, 2025).

Ocho días antes de realizar la siembra se aplicaron microorganismos de montaña (MM) al suelo, solo se aplicaron a los tratamientos que contenían biofertilizantes, en cambio a los testigos no se les aplicó.

5.3.4. Riego

Se implementó un sistema de riego por goteo, aplicando agua de acuerdo a las condiciones climáticas del período y necesidades del cultivo.

5.3.5. Control de malezas y MIP

El control de malezas se realizó de forma manual utilizando azadón y machete, se mantuvo limpio durante todo el ciclo del cultivo hasta la cosecha.

Durante el proceso de crecimiento de la planta se presentó la enfermedad causada por el hongo *Fusarium* sp. en el maíz, el cual afectó diferentes partes del cultivo, sin embargo, se utilizó un producto a base de aminoácidos para promover la recuperación de las plantas.

5.4 Tratamientos evaluados

5.4.1 Aplicación de los biofertilizantes

En este estudio se evaluaron cinco tratamientos (Cuadro 1), que se aplicaron según la etapa de crecimiento del cultivo. Antes de iniciar con la siembra se aplicaron 0.052 galones/ha de microorganismos de montaña en los tratamientos correspondientes, en cambio al testigo no se le aplicó.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos.

Tratamientos	Descripción	Dosis	Etapas de aplicación
T1 Testigo Absoluto	Cero aplicaciones	Cero aplicaciones	Cero aplicaciones
T2 Testigo comercial	Aplicación de fórmula química 12-24-12.	7 quintales/ha	V1
T3 Tratamiento orgánico (dosis baja)	Aplicación foliar y al suelo de todos los biofertilizantes.	BIOROOT 1.4 gal/ha	En Semilla/V0
		BIOSOL PLUS 0.74 gal/ha	V3
		BIO-CACIOBORO 0.74 gal/ha	V3

		BIOENGORGE 0.74 gal/ha	R1
T4 Tratamiento mixto (convencional/orgánico)	Aplicación foliar y al suelo de los biofertilizantes + formula química 12-24-12.	BIOROOT 1.4 gal/ha	En Semilla/V0
		BIOSOL PLUS 0.37 gal/ha	V3
		BIO-CACIOBORO 0.37 gal/ha	V3
		BIOENGORGE 0.37 gal/ha	R1
		3.5 quintales/ha	V1
T5 Tratamiento orgánico (dosis alta)	Aplicación solo al suelo de todos los biofertilizantes.	BIOROOT 2.8 gal/ha	En Semilla/V0
		BIOSOL PLUS 1.48 gal/ha	V3
		BIO-CACIOBORO 1.48 gal/ha	V3
		BIOENGORGE 1.48 gal/ha	R1

5.6 Variables evaluadas

5.6.1 Días a floración

Se registró el número de días desde la siembra hasta que el 50% de las plantas en cada parcela experimental mostraron los primeros signos de floración masculina (aparición de las anteras) o femenina (aparición de los estilos-estigmas). Este registro se realizó diariamente, observando al menos 10 plantas representativas por parcela para determinar el promedio. Fue fundamental llevar un control estricto del calendario y las condiciones climáticas, ya que factores como la temperatura y la humedad pudieron influir en la sincronización de la floración.

5.6.2 Altura promedio de planta

Para obtener la altura promedio de planta, se midió desde la base del tallo hasta el punto más alto del arco de la hoja superior que apuntaba hacia abajo. Este dato se tomó en la etapa de floración, seleccionando cinco plantas por cada repetición de cada tratamiento para el respectivo estudio.

5.6.3 Total de plantas cosechadas

Se realizó contando el número de plantas cosechadas en la parcela útil; asimismo, se tomó el tiempo que tardó el cultivo en llegar a la etapa de cosecha.

5.6.4 Área Foliar

Esta variable se evaluó antes de que la planta entrara en la etapa reproductiva, se realizó un muestreo de tres hojas por planta en dos plantas por parcela útil elegidas al azar para obtener el promedio del área foliar por tratamiento. Se midió en cm² y se aplicó la siguiente fórmula:

$$A=L \times a \times F$$

Donde:

A: Área foliar.

L: Longitud máxima de la hoja (cm).

a: Ancho máximo de la hoja (cm).

F: Factor de corrección (depende de la forma de la hoja; por ejemplo, 0.75 para hojas elípticas).

5.6.5 Número de mazorcas por planta

Se obtuvo dividiendo el número de mazorcas totales por parcela útil entre el número de plantas cosechadas, al momento de realizar la cosecha.

5.6.6 Número promedio de granos por mazorca

Para evaluar el número promedio de granos por mazorca, se seleccionaron al azar 10 mazorcas por parcela experimental al final del ciclo del cultivo. Las mazorcas fueron desgranadas cuidadosamente para evitar pérdidas y se contó el total de granos en cada una. El promedio se calculó sumando el total de granos de las mazorcas seleccionadas y dividiéndolo por el número de mazorcas evaluadas.

5.6.7 Longitud de mazorca

Se obtuvo seleccionando cinco mazorcas al azar cosechadas por parcela útil y se midió la distancia en centímetros desde la base de inserción de la mazorca hasta el ápice de la misma, haciendo uso de una regla graduada en centímetros. Posteriormente, se calculó el promedio de longitud de mazorca por repetición y por tratamiento.

5.6.8 Rendimiento de grano del maíz

Para obtener este dato, se tomó en cuenta el peso total de las mazorcas cosechadas de cada parcela experimental, el porcentaje de humedad del grano y el índice de desgrane. Los resultados se expresaron en kilogramos por hectárea y se hizo uso de la siguiente fórmula:

$$Rnd = \frac{PC \times 10000}{AU (m^2)} \times \frac{100 - HC}{HA} ID$$

Donde:

Rnd: Rendimiento

PC: Peso de campo

AU (m²): Usualmente es el área útil cosechada en metros cuadrados.

HC: Porcentaje de humedad actual del grano cosechado.

HA: Porcentaje de humedad base a la que se ajusta el rendimiento, típicamente 14% para granos

PC: Peso de campo

AU (m²): Usualmente es el área útil cosechada en metros cuadrados.

HC: Porcentaje de humedad actual del grano cosechado.

HA: Porcentaje de humedad base a la que se ajusta el rendimiento, típicamente 14% para granos, aunque puede variar según el cultivo.

5.7 Análisis estadístico

Los datos de campo fueron tabulados y analizados mediante un análisis de varianza (5%). Al detectar diferencias estadísticas significativas, se realizaría una prueba de medias de Tukey para la comparación de las medias de los tratamientos. De igual manera, se planteó realizar contrastes ortogonales para comparar tratamientos combinados contra los tratamientos donde solamente se utilizaron biofertilizantes. Los análisis se realizaron utilizando el programa de análisis estadístico InfoStat.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

El cultivo de maíz es una de las labores agrícolas más relevantes para la generación de granos básicos. En la presente investigación, el trabajo de campo comenzó con la preparación del terreno, la siembra y el manejo inicial del riego, además de la utilización de biofertilizantes como componente crucial de la estrategia de fertilización. No obstante, durante la etapa de cultivo, las condiciones de humedad excesiva fomentaron la multiplicación de hongos dañinos en las raíces, especialmente del género *Fusarium*, provocando un deterioro en las plantas y perjudicando su crecimiento y desarrollo (Ver anexo 8).

Frente a este escenario, se puso en marcha una táctica de recuperación a través de la aplicación foliar de aminoácidos, con el producto Liquid Feed Aminoácidos, que impulsó la regeneración de raíces, optimizó la asimilación de nutrientes y fortaleció el mecanismo de protección de la planta. Este compuesto nutricional líquido ofrece una rápida absorción y traslación, actuando como un reconstituyente biológico que ayuda a las plantas a superar el estrés provocado por infecciones fúngicas (Duwest, 2021). Su aplicación representa una estrategia innovadora para mejorar la resistencia y recuperación de los cultivos afectados por patógenos fúngicos

Esta intervención oportuna permitió que el cultivo recuperara su vigor, retomando un desarrollo adecuado y consiguiendo rendimientos satisfactorios, aunque bajos si se compara con rendimientos locales promedio de maíz en Honduras en 2025 que ronda entre 75 y 125 quintales por hectárea, lo que equivale aproximadamente entre 3,400 y 5,700 kilogramos por hectárea. Esto evidencia que una correcta gestión técnica y una pronta intervención frente a problemas fitosanitarios son esenciales para el éxito del cultivo.

A medida que el cultivo se desarrollaba, se observó un incremento progresivo de la precipitación diaria promedio (Ver figura 3). En marzo, la precipitación fue muy baja, con un promedio de 0.07 mm/día. En abril el promedio aumentó a 1.08 mm/día, mientras que en mayo la precipitación diaria alcanzó un promedio de 2.07 mm/día. El mes con mayor precipitación fue junio, con un promedio de 7.42 mm/día. El día con la máxima cantidad de lluvia en este periodo fue el 18 de mayo, con un pico de 26.60 mm/día, seguido por días lluviosos importantes en junio que alcanzaron hasta 26.40 mm/día. Estos datos reflejan un clima con mayor intensidad y frecuencia de lluvias conforme se acercaba la temporada de mayor desarrollo del cultivo, lo cual pudo haber afectado directamente el desarrollo y la etapa reproductiva de las plantas de maíz.

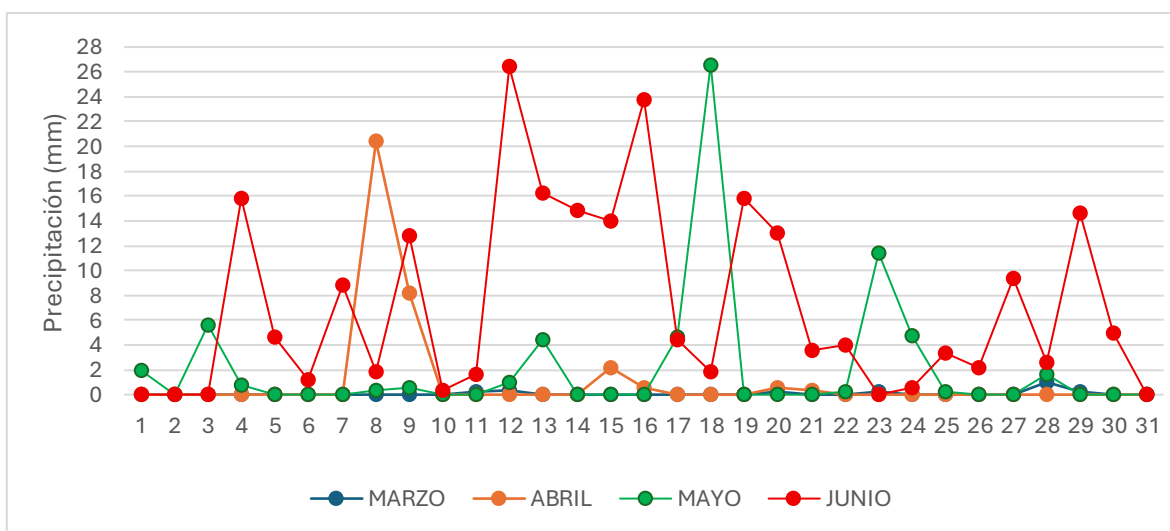


Figura 3. Promedio de precipitación (mm) diaria durante la investigación

6.1 Variables evaluadas

6.1.1 Días a floración del cultivo

El período de floración de los diferentes tratamientos se mantuvo cerca del rango normal para el maíz (*Zea mays* L.). Según la Universidad del Zamorano (2000) este período dura entre 60 a 65 días después de la siembra. En este estudio, el 50% de las plantas mostró signos de floración entre los 67 y 69 días (Ver tabla 1).

El Testigo Absoluto (T1) y el Tratamiento Orgánico (T3) con dosis baja de biofertilizantes registraron la floración más temprana, alcanzando los 67 días. Este resultado se puede atribuir a las condiciones iniciales del suelo, con un pH de 6.96 y un alto contenido de materia orgánica (9.18%) y otros nutrientes que proporcionaron un entorno favorable que permitió un desarrollo vegetativo acelerado en ausencia de insumos o con una dosis mínima de biofertilizantes, lo que sugiere que el ciclo natural de la planta se expresó de manera temprana.

En contraste, los tratamientos mixtos (T4) y con dosis alta de biofertilizantes (T5) mostraron una floración ligeramente más tardía, con el 50% de las plantas floreciendo a los 69 días. Este retraso puede ser explicado por la interacción de las condiciones climáticas y bióticas durante el crecimiento del cultivo, ya que mostro un exceso de humedad en el mes de abril que favorecieron la proliferación de hongos como *Fusarium* sp. La presencia de este hongo pudo generar un estrés adicional en las plantas, afectando su desarrollo y consecuentemente, su floración.

Tabla 1. Promedio de días a floración de cada tratamiento evaluado

TRATAMIENTO	Días a floración (promedio)
T1 Testigo absoluto	67 días
T2 Fertilización química	68 días
T3 Dosis baja de biofertilizantes	67 días
T4 Tratamiento mixto (bio + químico)	69 días
T5 Dosis alta de biofertilizantes	69 días

La poca diferencia en días a floración subraya que, si bien los biofertilizantes tienen potencial, su efectividad puede verse condicionada por las interacciones entre las características del suelo, el clima y los patógenos presentes en el entorno del cultivo (Reyes *et al.*, 2018).

6.1.2 Altura de la planta

Según el análisis de varianza no se encontraron efectos significativos para esta variable

No obstante, el testigo absoluto (T1), sin aplicación de fertilizantes, alcanzó una altura promedio de 1.67 m., mientras que el tratamiento con fertilización química sintética (T2) presentó una altura ligeramente menor, con 1.62 m. Algo no esperado fue que el tratamiento con dosis alta de biofertilizantes (T5) mostró la altura menor, con 1.56 m (Ver figura 4).

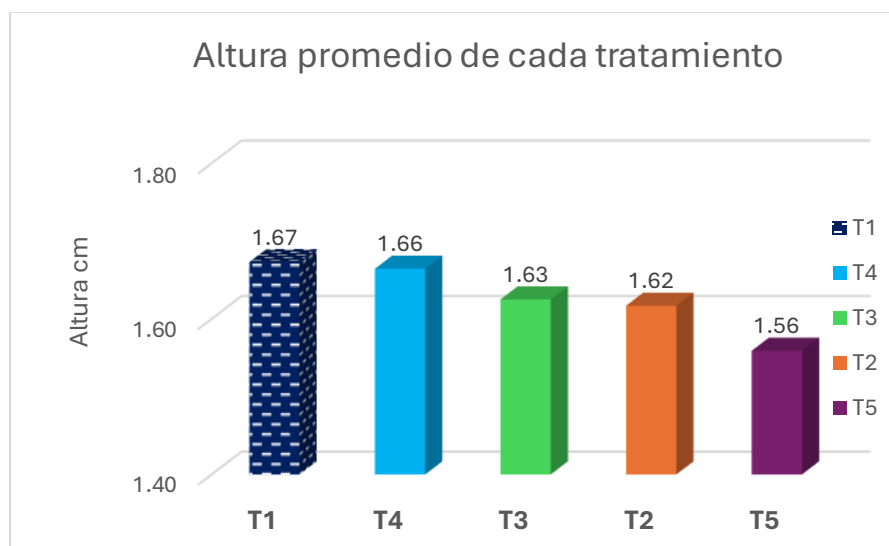


Figura 4. Altura promedio de cada tratamiento evaluado

Podría decirse que el tratamiento 1 (Testigo Absoluto) mostró la mayor altura de planta porque en realidad el suelo contaba con una buena fertilidad natural y materia orgánica, que proporcionaron nutrientes esenciales para su desarrollo, sin embargo, el aumento progresivo de precipitaciones hacia la etapa media del cultivo y la incidencia de *Fusarium* sp. generaron estrés adicional que pudo limitar el crecimiento normal de las plantas.

Esta combinación de factores bióticos y abióticos pudo haber evitado la expresión real del aporte de las fuentes de nutrientes utilizadas en este experimento. Los resultados obtenidos coinciden con diversos estudios anteriores, como los de Vázquez *et al.* (2013), que indican que la altura de la planta es una característica influenciada por factores genéticos y de manejo, además de la nutrición.

Para un análisis más detallado se aplicó un análisis de varianza para evaluar si los tratamientos tuvieron efecto significativo en la variable altura (ver anexo 1), lo que resultó negativo, no encontrándose diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

6.1.3 Área Foliar

Los resultados mostraron que el Tratamiento Orgánico de dosis alta (T5) registró 484 cm² y el Tratamiento Orgánico de dosis baja (T3) alcanzó 469 cm². El Testigo Comercial (T2), presentó el menor promedio de área foliar con 396 cm² (ver figura 5).

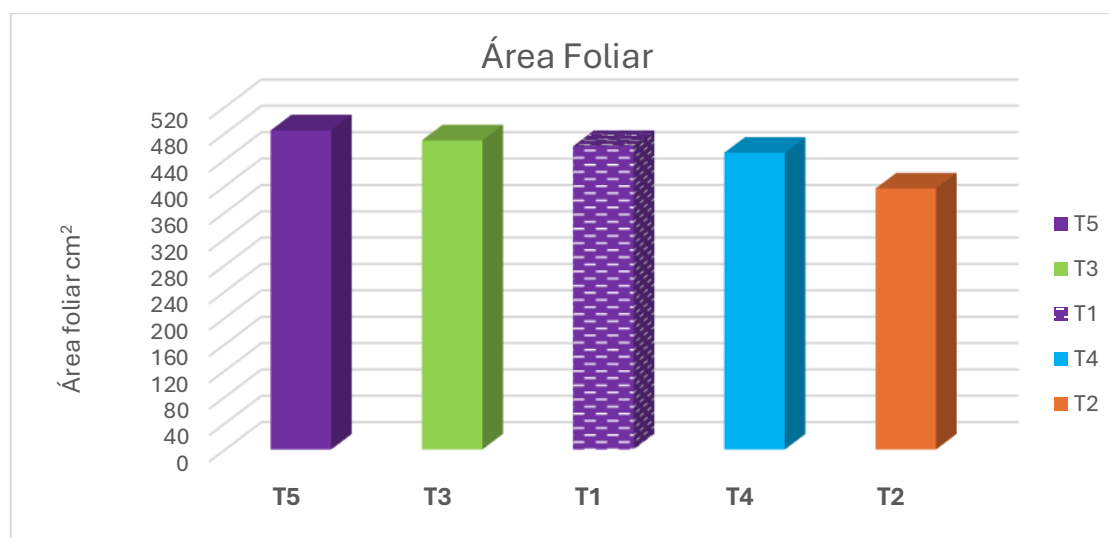


Figura 5. Promedio de área foliar de los tratamientos evaluados

Los resultados del área foliar registrados en los diferentes tratamientos pueden estar directamente influenciados por la calidad del suelo donde se realizó el estudio. La respuesta superior en el crecimiento foliar observada en los tratamientos orgánicos, especialmente en dosis alta (T5), sugiere que la fertilización aplicada pudo optimizar las condiciones para el desarrollo vegetal presentes en el suelo, favoreciendo una mayor absorción de nutrientes esenciales para la formación y expansión de las hojas.

Por otro lado, el menor desarrollo foliar en el Testigo Comercial podría indicar que este manejo no fue suficiente para maximizar el potencial productivo del cultivo en un suelo con características que demandan un adecuado balance y suministro de nutrientes. La fertilización mixta (T4), al ofrecer una interacción entre fuentes orgánicas y químicas, mostró

valores intermedios que pueden reflejar una respuesta variable vinculada a la eficacia con la que los nutrientes estuvieron disponibles y asimilados. Sin embargo el análisis de varianza no detectó diferencias significativas (Ver anexo 2).

6.1.4 Número promedio de mazorcas por planta

El número promedio de mazorcas en los distintos tratamientos varió entre 0.58 y 0.66 mazorcas por planta (Ver figura 5), resaltando el testigo absoluto (T1) con el promedio más elevado (0.66), mientras que los tratamientos T2 y T3 presentaron los valores más reducidos (0.58). Este resultado es interesante, ya que obtener mejor resultado con el Testigo Absoluto (T1), es un indicativo de un suelo con contenido nutricional adecuado, como se evidencia en el análisis de suelo realizado (anexo 9), lo cual tuvo influencia directa en los resultados.

Este comportamiento también puede explicarse considerando que la prolificidad en maíz, es decir, la capacidad de producir mazorcas por planta está influenciada, tanto por las condiciones del suelo, como por el manejo del cultivo. Un suelo con buena fertilidad puede sostener un nivel adecuado de producción incluso sin adición de fertilizantes, mientras que las respuestas a fertilización pueden ser variables según el tipo, dosis y momento de aplicación (Sanches y Gómez, 2020). La variación observada en los tratamientos indica la importancia de adaptar la fertilización a las características específicas del suelo para optimizar el número de mazorcas y por ende el rendimiento potencial del cultivo.

Estos datos concuerdan con los resultados de la investigación llevada a cabo en El Zamorano, Honduras, donde la cantidad de mazorcas por planta osciló entre 0.62 y 0.75 bajo distintos grados de fertilización con nitrógeno (Osorio, 2015).



Figura 6. Promedio de mazorcas por planta en cada tratamiento evaluado.

A pesar de que las diferencias pueden deberse a características propias del entorno y a los tratamientos particulares, ambos estudios concuerdan en que esta variable muestra una variabilidad moderada y que la fertilización tiene un impacto, aunque sin provocar alteraciones significativas en la cantidad de mazorcas por planta. El análisis de varianza realizado para esta variable no mostró diferencia estadística (ver anexo 3) Esta característica agronómica también está fuertemente determinada por la genética de la variedad. Esta proviene de la zona sur de Honduras y presenta las características morfológicas de un material nativo.

6.1.5 Longitud de Mazorca

La longitud de mazorca más alta se registró en el Testigo Absoluto (T1), con una longitud promedio de 14.06 cm, lo que indica que sin la aplicación de fertilizantes, las condiciones del suelo y el ambiente fueron adecuadas para que el desarrollo de la mazorca fuera óptimo. El tratamiento con fertilización química (T2) mostró una longitud ligeramente menor (13.77 cm), mientras que el tratamiento mixto (T4), que combina biofertilizantes con fertilizantes químicos alcanzó una longitud cercana (13.96 cm), lo cual podría indicar que esta

combinación tiene un efecto positivo, pero no supera al Testigo Absoluto en este parámetro (ver figura 7). El tratamiento 5 mostró el menor valor con 12.6 cm.

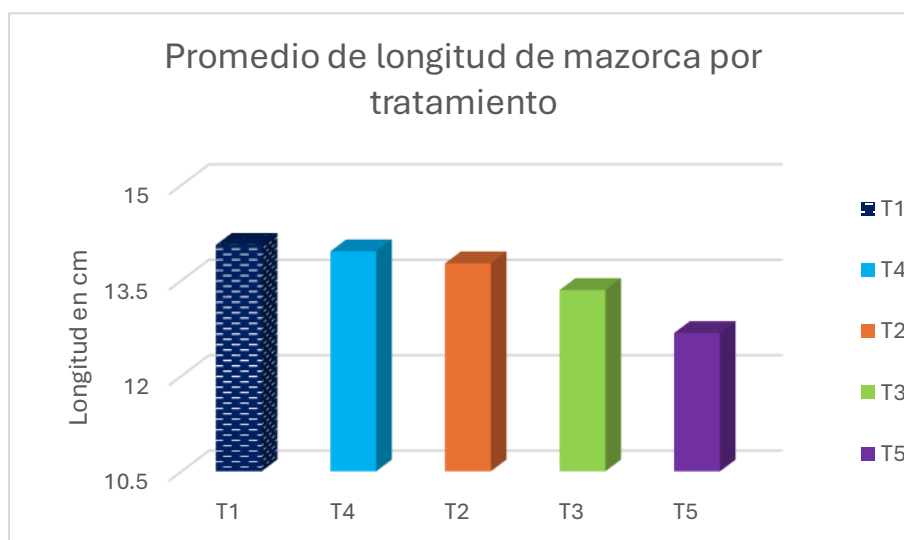


Figura 7. Promedio de longitud de mazorca encontrada en los tratamientos evaluados

Estos resultados pueden indicar que la aplicación exclusiva de biofertilizantes, particularmente en dosis altas, en este contexto, no promovió un aumento en la longitud de las mazorcas, posiblemente debido a la riqueza nutricional natural del suelo.

En general, la longitud de la mazorca está influenciada principalmente por la nutrición, especialmente por el aporte balanceado de macronutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio, que favorecen el crecimiento celular y expansión de tejidos; situación que se presentó en el suelo utilizado. Estudios científicos evidencian que a una mayor y adecuada fertilización con NPK, se incrementa la longitud y diámetro de mazorca, mejorando también peso y rendimiento (Sotomayor, J. *et al.* 2024)

Un estudio realizado en el valle de Pativilca, Perú (Yesquén, 2021) reportó longitudes de mazorca entre 14.33 cm y 19.03 cm para diferentes genotipos, confirmando que los valores

observados en este experimento están dentro de un rango esperado para cultivos de maíz en condiciones productivas similares.

6.1.6 Plantas cosechadas

Durante la cosecha se contabilizaron un total de 1019 plantas distribuidas entre los tratamientos aplicados. El testigo absoluto (T1), sin aplicación de fertilizantes, presentó un promedio de 52 plantas cosechadas. El tratamiento con fertilización química (T2) registró 50 plantas, mientras que el de dosis baja de biofertilizantes (T3) alcanzó 51 plantas. El tratamiento mixto de biofertilizantes más fertilizantes químicos (T4) mostró el mayor promedio con 54 plantas, y finalmente, el tratamiento con dosis alta de biofertilizantes (T5) presentó el menor valor con 48 plantas (Ver tabla 2),

Este resultado es notable porque el Tratamiento Mixto (T4), que combinó biofertilizantes con una dosis más baja de fertilizante químico, mostró una tasa de supervivencia superior a los demás tratamientos, incluso superando al testigo absoluto (T1) que ha tenido un mejor desempeño en variables anteriores. Esto podría ser un indicio de una sinergia entre los productos, donde los biofertilizantes contribuyeron a la salud del suelo y la nutrición de la planta, y la fórmula química complementó los requerimientos nutricionales específicos, lo que en conjunto pudo haber fortalecido la planta frente a condiciones adversas.

En contraste, el Tratamiento Orgánico de dosis alta (T5), que recibió el doble de dosis de biofertilizantes, tuvo el menor promedio de plantas cosechadas. Este hallazgo es similar a lo que se observó en la altura y longitud de mazorca, donde la dosis alta de fertilización no resultó en una mejora en la variable. Esto podría deberse a un posible estrés causado por una sobre fertilización o un desbalance en el ecosistema del suelo, lo que afectó negativamente la supervivencia de las plantas hasta la cosecha.

Por otro lado, el análisis de varianza no encontró diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (Ver anexo 5)

6.1.7 Número promedio de granos por mazorca

Para la variable número de granos por mazorca, el tratamiento con la dosis baja de biofertilizante (T3) con 446 granos y el testigo absoluto (T1) con 432 granos, obtuvieron los valores más altos.

A diferencia de las variables anteriores (altura y longitud de mazorca), un tratamiento con biofertilizantes, el T3, fue el que obtuvo el mejor promedio, quizás evidenciando un efecto positivo de esta fertilización biológica en el desarrollo reproductivo del maíz (Ver (figura 8). Este resultado está en línea con estudios que muestran cómo los biofertilizantes favorecen la actividad microbiana del suelo y mejoran la absorción de nutrientes, promoviendo una mejor formación de granos (Martínez *et al*, 2018).

Por su parte, también puede interpretarse que los resultados son similares debido a la riqueza natural del suelo, tal y como se observa en el anexo 7.

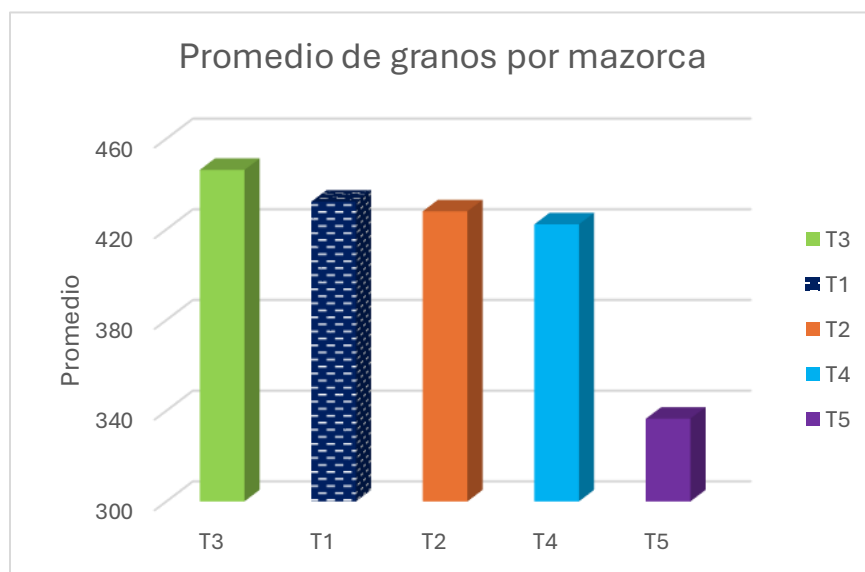


Figura 8. Promedio del número de granos por mazorca en los tratamientos evaluados

En este caso, el análisis de varianza no detectó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Ver anexo5).

Investigaciones realizadas en Costa Rica han demostrado que los biofertilizantes promueven el crecimiento e incrementan la cantidad de granos, aumentando el rendimiento (Bioeco, 2022). Esto implica que una adecuada gestión puede definir el cambio en la producción de granos por mazorca.

6.1.8 Rendimiento del grano

El rendimiento de grano, la variable final y la más importante, mostró un resultado inesperado al posicionar al Testigo Absoluto (T1) con el mayor rendimiento, con 2717.39 Kg/ha (59.78 quintales/Ha). Por otra parte, el Tratamiento Mixto (T4), con 2608.70 Kg/ha, se aproximó significativamente al rendimiento del testigo absoluto, lo que refuerza la idea de que el suelo utilizado posee características físico químicas muy buenas para la producción de maíz, entre ellas, un contenido alto de materia orgánica (9.18%), niveles altos de fósforo, calcio, magnesio, medio alto en el caso de potasio y medio en el caso de nitrógeno; con una capacidad de intercambio catiónico alta.

La situación descrita anteriormente puede estar enmascarando el efecto de los biofertilizantes evaluados, no permitiendo que expresaran su verdadero potencial en la nutrición del maíz; tal y como se observa en los rendimientos obtenidos por el tratamiento al que no se le aplicaron biofertilizantes (testigo absoluto)

El Tratamiento Orgánico de dosis baja (T3), con 2467.39 kg/ha, superó al Testigo Comercial (T2) y a la dosis alta de biofertilizantes (T5) (1853.26 kg/ha y 2016.30 kg/ha, respectivamente). Se observa que los tratamientos orgánicos mostraron rendimientos ligeramente superiores, lo que podría sugerir adecuada disponibilidad de nutrientes por el efecto de macro y microfauna en el suelo. Por su parte, el T2 con fertilización química (fertilizante sintético) registró el rendimiento más bajo, lo que podría indicar un efecto negativo sobre los organismos del suelo y una baja disponibilidad.

Tabla 2 Rendimiento obtenido por tratamiento

Tratamiento	Rendimiento promedio (kg/ha)	Rendimiento promedio (quintales/ha)
T1 Testigo absoluto	2717.39	59.78
T2 Fertilización química	1853.26	40.77
T3 Dosis baja de biofertilizantes	2467.39	54.28
T4 Tratamiento mixto (bio + químico)	2608.70	57.39
T5 Dosis alta de biofertilizantes	2016.30	44.36

Para esta variable y de acuerdo con el análisis de varianza (0.05), no existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos evaluados (Ver anexo 6).

Es probable que el exceso de lluvia en las primeras etapas de crecimiento del maíz y la presencia del hongo *Fusarium* incidieran para obtener un rendimiento de grano bajo. Por otro lado, de acuerdo con el análisis realizado, el suelo utilizado para este experimento posee una riqueza nutricional alta y características físicas adecuadas para cultivos agrícolas como el maíz (ver anexo 9), lo que probablemente no permitió que se expresara el aporte nutricional de los biofertilizantes evaluados en este estudio.

VII. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para ninguna de las variables evaluadas, lo cual sugiere que, bajo las condiciones experimentales del estudio, las distintas estrategias de fertilización generaron respuestas similares en el cultivo, probablemente debido a la buena riqueza nutricional aportada por el suelo y a las características de la variedad de maíz utilizada, poco demandante en nutrientes

El análisis de suelo indicó que el lote donde se instaló el ensayo posee una alta fertilidad natural, lo que propició un buen desarrollo general del cultivo, impidiendo observar el aporte de las fuentes de nutrientes bajo estudio.

Se concluye que los biofertilizantes representan una opción viable para promover una agricultura sostenible. No obstante, su efectividad y rendimiento están condicionadas por factores como la salud del suelo y las condiciones climáticas del entorno.

VIII. RECOMENDACIONES

Dado que el estudio concluyó que el suelo tenía una alta fertilidad natural y que el tratamiento sin fertilización arrojó los mejores resultados de rendimiento, se recomienda enfáticamente realizar un análisis completo del suelo antes de cualquier intervención. Esto permitiría determinar con precisión las necesidades nutricionales del cultivo y evitar la aplicación innecesaria de insumos, lo que no solo reduce costos, sino que también minimiza el impacto ambiental.

Investigar el beneficio de utilizar biofertilizantes en suelos con menor fertilidad, degradados o en procesos de recuperación, en los cuales su efecto sobre la salud del suelo y sobre el crecimiento del cultivo podría verse claramente. Por lo tanto, se recomienda replicar esta investigación en zonas con suelos que presentan bajos niveles de fertilidad y así evaluar su potencial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Accuweather. 2023. Previsión meteorológica para Catacamas, Olancho, Honduras AccuWeather.

AGROrgánicos S. de R.L de CV. s. f. Biofertilizantes. .

Aguilar, N. (2007). Evaluación del efecto de la inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal y solubilizadoras de fósforo en plantas de trigo. Santiago de Chile, s.e.

Aguilera, G; Olalde, P; Rubí, A. 2008. Micorrizas arbusculares. Ciencia ergo sum :300-306.

Aguirre, J; Velasco, E. 1994. Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento en *Leucaena leucocephala* Lam. (De Wit) al inocularse con micorriza VA y/o *Rhizobium loti*. Agricultura técnica en México, :43-54.

Attanandana, T; Yost, S. 2018. Estrategias de manejo de nutrientes por sitio específico. Informaciones Agronómicas, INPOFOS, No. 53. .

Bashan, Y; Holguin, G. 2000. Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol PGPB (plant growth-promoting bacteria) and PGPB. .

Carcaño, M; Ferrera, R. 2006. Actividad nitrogenasa, producción de fitohormonas, sideróforos y antibiosis en cepas de *Azospirillum* y *Klebsiella* aisladas de maíz y teocintle. .

Carcaño, M; Ferrera, R; Perez, R; Molina, J; Bashan, Y. 2006. Actividad nitrogenasa, producción de fitohormonas, sideróforos y antibiosis en cepas de *Azospirillum* y *Klebsiella* aisladas de maíz y teocintle. *Tierra Latinoamericana* :493-502.

Ciampitti, IA; Elemore, RW; Launer, J. 2011. *Corn Growth and Development*. . Consultado 6 jun. 2024.

Clegg, C. 2006. Impact of cattle grazing and inorganic fertilizer additions to managed grasslands on the microbial community composition of soils. *Soil Ecol* .

Conforto, C. 2018. Influencia de la fertilización inorgánica sobre la actividad microbiana del suelo (en línea, sitio web). Consultado 7 abr. 2024. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/F4A4F639EB835CEF85257AC5006D6E33/\\$FILE/18.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/F4A4F639EB835CEF85257AC5006D6E33/$FILE/18.pdf).

Cruz, IO; Técnico, C; Fidelio, O; Núñez, C; García, O; Vásquez, P; Iglesias, R; Salgado, R; Villeda, M. 2017. EL CULTIVO DE MAIZ Manual para la producción del cultivo del maíz en Honduras EL CULTIVO DE MAÍZ, Manual para la producción del cultivo de maíz en Honduras (en línea). . Consultado 7 abr. 2024. Disponible en www.dicta.gob.hn.

Diaz, J. 2018. >>Biofertilizantes: qué son y cómo mejorar la fertilidad del suelo de forma natural | Agriquito (en línea, sitio web). Consultado 4 mar. 2024. Disponible en <https://agriquito.com/blog/agricultura/wikicultivos/biofertilizantes/>.

Etecé. 2018. Maíz: historia, cultivo, variedades, usos y características (en línea). <https://humanidades.com/> . Consultado 6 jun. 2024. Disponible en <https://humanidades.com/maiz/>.

FAO. 2021. Los sistemas agroalimentarios y la Agenda 2030 | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (en línea, sitio web). Consultado 7

abr. 2024. Disponible en <https://www.fao.org/sustainable-development-goals-helpdesk/overview/agrifood-systems-and-the-2030-agenda/es>.

Félix, J. 2021. ¿Qué es el maíz? – El oficio de historiar (en línea, sitio web). Consultado 6 jun. 2024. Disponible en <https://eloficiodehistoriar.com.mx/2021/09/25/que-es-el-maiz/>.

Garcia, J. 2022. Los microorganismos en el ciclo del nitrógeno | La guía de Biología (en línea, sitio web). Consultado 26 oct. 2024. Disponible en https://biologia.laguia2000.com/ecologia/los-microorganismos-en-el-ciclo-del-nitrogeno#google_vignette.

Harper, LA; Sharpe>, RR; Langdale, GW; Giddens, JE. 1987. Nitrogen Cycling in a Wheat Crop: Soil, Plant, and Aerial Nitrogen Transport1 (en línea). Agronomy Journal 79(6):965-973.

DOI: <https://doi.org/10.2134/AGRONJ1987.00021962007900060004X>.

Hawkes, C. 2023. Transformar el sistema agroalimentario para resolver los retos más importantes del mundo | Noticias ONU (en línea, sitio web). Consultado 7 abr. 2024. Disponible en <https://news.un.org/es/story/2023/07/1522892>.

Hernandez, M. 2023. Impacto de los fertilizantes en la salud del suelo: ¿Cómo afectan al ecosistema? - FitosanitariosWeb (en línea, sitio web). Consultado 2 abr. 2024. Disponible en <https://fitosanitariosweb.com/como-afectan-los-fertilizantes-al-suelo/>.

Instituto Tecnológico de Costa Rica. Efecto de la aplicación de bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz. San Carlos, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica; 2021. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/12296>

- IICA. 2019. El camino hacia prácticas agrícolas sostenibles en América Latina y el Caribe | Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (en línea, sitio web). Consultado 7 abr. 2024. Disponible en <https://iica.int/es/prensa/noticias/el-camino-hacia-practicas-agricolas-sostenibles-en-america-latina-y-el-caribe>.
- INTA. 2004. Cultivemos el Maíz con Menos riesgo . Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria, Managua Nicaragua. .
- Lara, O. 2021. Consecuencias del uso de fertilizantes químicos - Colombia Verde (en línea, sitio web). Consultado 7 abr. 2024. Disponible en <https://colombiaverde.com.co/geografia/agricultura/consecuencias-del-uso-de-fertilizantes-quimicos/>.
- Lopez, R. 2022. El uso de fertilizantes ha contaminado y degradado los suelos durante años. ¿Qué se está haciendo para revertir la situación? (en línea, sitio web). Consultado 4 mar. 2024. Disponible en <https://www.residuosprofesional.com/fertilizantes-degradacion-suelos/>.
- Luna, Y del C; Álvarez Solís, JD; Pérez-Luna, Y del C; Álvarez Solís, JD. 2021. Efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre el rendimiento de maíz en parcelas con y sin cobertura vegetal (en línea). Idesia (Arica) 39(4):29-38. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000400029>.
- Martínez Reyes, J., González López, M., & Pérez Sánchez, R. (2018). Efecto de la fertilización química y biofertilizantes en el desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz. Revista de Ciencias Agrícolas, 15(3), 45-52.
- Martínez Reyes, L; Aguilar Jiménez, CE; Carcaño Montiel, MG; Galdámez Galdámez, J; Gutiérrez Martínez, A; Morales Cabrera, JA; Martínez Aguilar, FB; Llaven Martínez, J; Gómez Padilla, E; Martínez Reyes, L; Aguilar Jiménez, CE; Carcaño Montiel, MG; Galdámez Galdámez, J; Gutiérrez Martínez, A; Morales Cabrera, JA; Martínez Aguilar, FB; Llaven Martínez, J; Gómez Padilla, E. 2018.

Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México (en línea). Siembra 5(1):26-37. DOI: <https://doi.org/10.29166/SIEMBRA.V5I1.1425>.

Molina, LX; Iván, C; Cárdenas, C; Rojas Anaya, E; Ruíz Ramírez, S; De Los, S; Villalobos, S. 2020. Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agrobiotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 11(6):1423-1436. DOI: <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V11I6.2492>.

Morales, M. 2021. BIOFERTILIZANTES, VENTAJAS Y DESVENTAJAS | Agroislas (en línea, sitio web). Consultado 7 abr. 2024. Disponible en <https://agroislas.com/biofertilizantes-ventajas-y-desventajas/>.

Moreno, R; Garcia, T; Storch, J. (2011). Fertilización y corrección edáfica de suelos agrícolas con productos orgánicos. s.l., s.e.

Osorio, F.O. (2015). Efectos de población sobre rendimiento y otras características del maíz (*Zea mays* L.) en el Valle de El Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

OMS; FAO. 2018. Organización Mundial de la Salud/ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Sistemas alimentarios seguros y sostenibles en una era de cambio climático acelerado. FAO y OMS :1-5.

Piotrowski, J; Rilig, M. 2008. Succession of Arbuscular Mycorrhizal Fungi: Patterns, Causes, and Considerations for Organic Agriculture. Advances in Agronomy .

Ramírez. 2024. En el 2023: Producción de maíz aumenta en un millón de quintales – Diario La Tribuna (en línea, sitio web). Consultado 7 abr. 2024. Disponible en

<https://www.dev.latribuna.hn/2024/01/06/en-el-2023-produccion-de-maiz-aumenta-en-un-millon-de-quintales/>.

Ramos, A. 2019. Maíz: historia, cultivo, variedades, usos y características (en línea). <https://humanidades.com/> . Consultado 6 mar. 2024. Disponible en <https://humanidades.com/maiz/>.

Reyes, M; Jiménez, A; Ernesto, C; Montiel, C; Graciano, M; Galdámez, G; Martínez, G; Cabrera, M; Alonso, J; Aguilar, M; Martínez, L; Padilla, G. 2018. Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* l.) en Villaflores, Chiapas, México (en línea). DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1425>.

Rodriguez. 2018. ▷ Biofertilizantes: La solución ecológica para un cultivo sostenible ✓ (en línea, sitio web). Consultado 28 mar. 2024. Disponible en <https://vida-sustentable.com/biofertilizantes/>.

Romero, S. 2021. Degradación del suelo por fertilizantes químicos - Colombia Verde (en línea, sitio web). Consultado 4 mar. 2024. Disponible en <https://colombiaverde.com.co/geografia/agricultura/degradacion-del-suelo-por-fertilizantes-quimicos/>.

Ruiz, J. 2022. El uso de fertilizantes ha contaminado y degradado los suelos durante años. ¿Qué se está haciendo para revertir la situación? (en línea, sitio web). Consultado 4 mar. 2024. Disponible en <https://www.residuosprofesional.com/fertilizantes-degradacion-suelos/>.

Salvador, J. 2015. Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno (en línea, sitio web). Consultado 7 abr. 2024. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792015000100051&script=sci_arttext.

- Sanchez, J. 2020. Causas y consecuencias de los fertilizantes - Colombia Verde (en línea, sitio web). Consultado 4 mar. 2024. Disponible en <https://colombiaverde.com.co/geografia/agricultura/causas-y-consecuencias-de-los-fertilizantes/>.
- Sánchez, A.L.; Gómez, R. 2020. Evaluación agronómica de genotipos de maíz y su respuesta a prácticas culturales. Revista Agrícola Colombiana 15(4): 230-240.
- Sotomayor, J.; Pérez, M.; Gómez, L. 2024. Gestionar el efecto de fertilizantes NPK y dos densidades de siembra en maíz. Revista de Investigación Científica Agropecuaria 2(2): 39-51. Bolivia.
- Vázquez, A., G. Ruiz, M. De La Cruz, J. Sánchez, y C. Aguilar. 2013. Producción de materia verde de maíz (*Zea mays* L.) en diferente densidad de siembra. Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Hidalgo, México. Tesis (Ingeniería Agronómica). 80 p.
- Vessey, J. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil .
- Vinh, Q. 2021. Lograr sistemas alimentarios resilientes - Alimenta ODS (en línea, sitio web). Consultado 7 abr. 2024. Disponible en <https://alimentaods.org/noticias/lograr-sistemas-alimentarios-resilientes/>.
- Yesquén, C. A. (2021). Evaluación agronómica de cuatro genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en el valle de Pativilca [Tesis de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.14067/6069>

ANEXOS

Anexo 1: Prueba estadística para la variable de altura con un rango de 5.

Altura

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
altura	20	0.34	0.00	4.48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.03	7	4.6E-03	0.86	0.5594
bloque	1.5E-03	3	4.9E-04	0.09	0.9633
tratamiento	0.03	4	0.01	1.44	0.2791
Error	0.06	12	0.01		
Total	0.10	19			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 0.0053 gl: 12

tratamiento	Medias	n	E.E.
T1	1.67	4	0.04 A
T4	1.67	4	0.04 A
T3	1.63	4	0.04 A
T2	1.62	4	0.04 A
T5	1.56	4	0.04 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 2: Prueba estadística para la variable de granos/mazorca con un rango de 5.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Granos/MZ	20	0.38	0.02	19.08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	45420.25	7	6488.61	1.04	0.4508
bloque	14864.55	3	4954.85	0.80	0.5184
tratamiento	30555.70	4	7638.93	1.23	0.3492
Error	74516.70	12	6209.73		
Total	119936.95	19			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 6209.7250 gl: 12

tratamiento	Medias	n	E.E.
T3	446.25	4	39.40 A
T1	432.25	4	39.40 A
T2	428.00	4	39.40 A
T4	422.25	4	39.40 A
T5	336.50	4	39.40 A

Anexo 3: Prueba estadística para la variable de Área foliar con un rango de 5.

Area/foliar

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
area/foliar	20	0.43	0.10	15.80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	46137.95	7	6591.14	1.29	0.3321
bloque	27911.75	3	9303.92	1.82	0.1965
tratamiento	18226.20	4	4556.55	0.89	0.4976
Error	61221.00	12	5101.75		
Total	107358.95	19			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 5101.7500 gl: 12

tratamiento	Medias	n	E.E.
T5	484.50	4	35.71 A
T3	469.00	4	35.71 A
T1	460.50	4	35.71 A
T4	450.25	4	35.71 A
T2	396.00	4	35.71 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 4: Prueba estadística para la variable Rendimiento kg/ha con un rango de 5.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
rendimiento kg/ha	20	0.53	0.26	21.66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3578188.10	7	511169.73	1.97	0.1446
bloque	1640389.40	3	546796.47	2.11	0.1530
tratamiento	1937798.70	4	484449.68	1.87	0.1814
Error	3117020.10	12	259751.68		
Total	6695208.20	19			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 259751.6750 gl: 12

tratamiento	Medias	n	E.E.
T1	2717.50	4	254.83 A
T4	2609.00	4	254.83 A
T3	2467.25	4	254.83 A
T5	2016.25	4	254.83 A

Análisis de la varianza

Anexo 5: Prueba estadística para la variable de altura con un rango de 10.

altura

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
altura	20	0.34	0.00	4.48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.03	7	4.6E-03	0.86	0.5594
bloque	1.5E-03	3	4.9E-04	0.09	0.9633
tratamiento	0.03	4	0.01	1.44	0.2791
Error	0.06	12	0.01		
Total	0.10	19			

Test:Duncan Alfa=0.10

Error: 0.0053 gl: 12

tratamiento	Medias	n	E.E.	
T1	1.67	4	0.04	A
T4	1.67	4	0.04	A
T3	1.63	4	0.04	A B
T2	1.62	4	0.04	A B

Anexo 6: Prueba estadística para la variable de granos con un rango de 10.

	Variable	N	R ²
R ² Aj CV			
G/M	20	0.38	0.02 19.08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	45420.25	7	6488.61	1.04	0.4508
bloque	14864.55	3	4954.85	0.80	0.5184
tratamiento	30555.70	4	7638.93	1.23	0.3492
Error	74516.70	12	6209.73		
Total	119936.95	19			

Test:Duncan Alfa=0.10

Error: 6209.7250 gl: 12

tratamiento	Medias	n	E.E.	
T3	446.25	4	39.40	A
T1	432.25	4	39.40	A B
T2	428.00	4	39.40	A B
T4	422.25	4	39.40	A B
T5	336.50	4	39.40	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.10$)

Anexo 7: Prueba estadística para la variable de Área foliar con un rango de 10.

Areafoliar

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
----------	---	----------------	-------------------	----

Areafoliar	20	0.43	0.10	15.80
------------	----	------	------	-------

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	46137.95	7	6591.14	1.29	0.3321
bloque	27911.75	3	9303.92	1.82	0.1965
tratamiento	18226.20	4	4556.55	0.89	0.4976
Error	61221.00	12	5101.75		
Total	107358.95	19			

Test:Duncan Alfa=0.10

Error: 5101.7500 gl: 12

tratamiento	Medias	n	E.E.
T5	484.50	4	35.71 A
T3	469.00	4	35.71 A
T1	460.50	4	35.71 A
T4	450.25	4	35.71 A
T2	396.00	4	35.71 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.10$)

Anexo 8: Prueba estadística para la variable Rendimiento kg/ha con un rango de 10.

rendimiento kg/ha

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
rendimiento kg/ha	20	0.55	0.28	21.98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3932728.10	7	561818.30	2.07	0.1274
bloque	1823149.40	3	607716.47	2.24	0.1356
tratamiento	2109578.70	4	527394.68	1.95	0.1671
Error	3249560.10	12	270796.68		
Total	7182288.20	19			

Test:Duncan Alfa=0.10

Error: 270796.6750 gl: 12

tratamiento	Medias	n	E.E.	
T1	2717.50	4	260.19	A
T4	2684.00	4	260.19	A
T3	2467.25	4	260.19	A B
T5	2016.25	4	260.19	A B
T2	1953.50	4	260.19	B

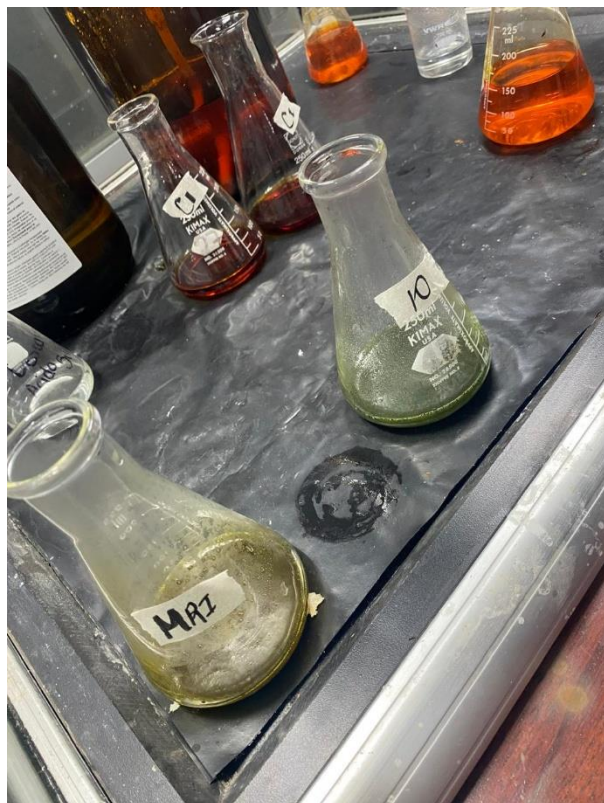
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.10$)

Anexo 9: Análisis de suelo realizado del sitio de estudio Estación experimental Raúl Rene Valle.

Parámetro	Resultado	Unidad	Nivel	Interpretación
pH	6.96	-	Moderadamente orgánico	Ligeramente ácido, ideal para la mayoría de cultivos
Materia Orgánica	9.18	%	Alto	Baja capacidad de retención y actividad biológica
Textura del suelo	Franco arcilloso	-	ideal	Buena retención de agua y nutrientes
Magnesio (Mg)	123.3	Mg/kg	Alto	Bien equilibrado con calcio.
Calcio (Ca)	483.0	Mg/kg	Medio	Aporta suficiente calcio y salud radicular
Carbono Orgánico	5.32	% Co	Alto	Buena fertilidad para los cultivos.
Nitrógeno	0.46	% N	Alta	Aporta buenos fertilizantes al maíz.
Potasio	18.4	Mg/kg	bajo	

Laboratorio de suelos UNAG

Anexo 11: Análisis de pH y materia orgánica en el laboratorio de suelos.



go Fusar



