

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



**Biofertilizantes como alternativa sostenible para la nutrición de frijol común
(*Phaseolus vulgaris*) en la Universidad Nacional de Agricultura**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Presentada como requisito parcial para obtener el título de
INGENIERO EN GESTION INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES

POR:

DERIXON ADALBERTO MENDOZA ORELLANA

CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, C. A.

FEBRERO, 2026

Biofertilizantes como alternativa sostenible para la nutrición de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) en la Universidad Nacional de Agricultura

por:

Derixon Adalberto Mendoza Orellana

Mario Edgardo Talavera Sevilla, PhD.

Director de Tesis

TESIS

presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO EN GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES

CATACAMAS

OLANCHO

FEBRERO, 2026

ACTA DE SUSTENTACIÓN

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, 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 mi familia, por sus palabras de aliento, su paciencia y comprensión durante las largas jornadas de estudio e investigación.

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

Dedico este trabajo, de manera especial, a todos los agricultores y productoras de nuestra tierra, cuyo esfuerzo silencioso alimenta a nuestras comunidades. Ellos son la inspiración que me motivó a buscar alternativas sostenibles que protejan nuestros recursos y fortalezcan el campo para las futuras generaciones.

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**, 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 mis compañeros y amigos, 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

| | |
|--|----|
| ACTA DE SUSTENTACIÓN | 1 |
| DEDICATORIA | 2 |
| AGRADECIMIENTOS | 3 |
| LISTA DE FIGURAS | 6 |
| LISTA DE TABLAS | 7 |
| I. INTRODUCCIÓN | 9 |
| II. OBJETIVOS | 3 |
| 2.1. Objetivo general..... | 3 |
| 2.2. Objetivos específicos | 3 |
| III. REVISION DE LITERATURA | 4 |
| 3.1. Sistemas agroalimentarios sostenibles..... | 4 |
| 3.1.1. Políticas públicas de éxito en otros países que han impulsado para cambiarse hacia sistemas agroalimentarios sostenibles. | 5 |
| 3.1.2. Ventajas de la agricultura sostenible..... | 6 |
| 3.2. Agricultura convencional..... | 8 |
| 3.2.1. Desventajas de la agricultura convencional..... | 8 |
| 3.3. Biofertilizantes..... | 10 |
| 3.3.1. Funciones de los biofertilizantes | 11 |
| 3.3.2. Ventajas y beneficios | 13 |
| 3.3.3. Importancia de la biodiversidad para una agricultura sostenible..... | 15 |
| 3.3.4. Aplicación del Biofertilizante..... | 16 |
| 3.4. Fertilización química | 18 |
| 3.4.1. Tipos de fertilizantes químicos..... | 19 |
| 3.5. Generalidades del cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)..... | 19 |
| 3.5.1. Variedades de frijol adaptadas a la región de Olancho | 20 |
| 3.5.2. Importancia del cultivo del frijol en América Latina y el Caribe | 21 |
| 3.5.3. Características botánicas | 22 |
| 3.6. Factores que limitan la producción de frijol | 22 |
| 3.7. Plagas con importancia económica en el cultivo de frijol. | 23 |
| IV. MATERIALES Y MÉTODOS | 24 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 4.1. | Ubicación del área de trabajo..... | 24 |
| 4.2. | Materiales y equipo..... | 25 |
| 4.3. | Método..... | 25 |
| 4.3.1. | Preparación del terreno..... | 25 |
| 4.3.2. | Diseño experimental y Tratamientos | 25 |
| 4.3.3. | Biofertilizantes evaluados en la investigación..... | 26 |
| 4.3.4. | Composición de los biofertilizantes utilizados..... | 27 |
| 4.3.5. | Testigo relativo (fertilización convencional utilizada por el productor)..... | 29 |
| 4.3.6. | Descripción de los tratamientos evaluados..... | 30 |
| 4.3.7. | Aplicación de microorganismos de montaña (MM)..... | 33 |
| 4.3.8. | Protección del cultivo al ataque de plagas..... | 33 |
| 4.3.9. | Análisis inicial de Suelo | 33 |
| 4.3.10. | Siembra | 33 |
| 4.3.11. | Riego..... | 34 |
| 4.3.12. | Control de malezas y manejo integrado de plaga (MIP)..... | 34 |
| 4.3.13. | Cosecha | 34 |
| 4.4. | VARIABLES EVALUADAS..... | 35 |
| 4.5. | Análisis estadístico de los datos..... | 36 |
| 4.6. | Análisis de Rentabilidad | 37 |
| V. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 38 |
| 5.1. | Precipitaciones en las etapas de desarrollo del cultivo | 38 |
| 5.2. | Análisis de suelo | 39 |
| 5.3. | Altura promedio de las plantas | 40 |
| 5.4. | Número promedio de nódulos por planta..... | 42 |
| 5.5. | Biomasa total. | 45 |
| 5.6. | Vainas promedio por planta | 47 |
| 5.7. | Granos promedio por vaina..... | 49 |
| 5.8. | Rendimiento..... | 50 |
| 5.9. | Número total de plantas cosechadas | 51 |
| 5.10. | Análisis de rentabilidad | 53 |
| 6.0. | Correlación entre biomasa, nódulos y rendimiento..... | 55 |
| VI. | CONCLUSIONES..... | 57 |
| VII. | RECOMENDACIONES..... | 58 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 59 |
| | ANEXOS | 70 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Mapa de ubicación donde se realizó el ensayo..... | 25 |
| Figura 2 Distribución de los tratamientos en el campo..... | 27 |
| Figura 3 Promedio de precipitación (mm) diaria durante la investigación | 41 |
| Figura 4 Altura promedio por tratamiento..... | 43 |
| Figura 5 Número promedio de nódulos por planta..... | 45 |
| Figura 6 Peso seco, peso húmedo promedio por tratamiento..... | 48 |
| Figura 7 Número promedio de Vaina por planta y granos por vaina..... | 51 |
| Figura 8 Rendimiento de grano por tratamiento..... | 55 |
| Figura 9 Plantas totales cosechadas por ha..... | 57 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Descripción de los biofertilizantes evaluados en la investigación..... | 28 |
| Tabla 2. Descripción de los tratamientos..... | 32 |
| Tabla 3 costos de producción | 59 |
| Tabla 4 análisis económico en relación beneficio/costo (B/C)..... | 60 |
| Tabla 5. Correlación entre tratamientos..... | 53 |
| Tabla 6 Análisis de suelo inicial..... | 79 |

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de los biofertilizantes como alternativa sostenible para la nutrición del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) bajo condiciones de campo en la Universidad Nacional de Agricultura. Se establecieron cinco tratamientos bajo un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, evaluando variables como altura de planta, número de nódulos, biomasa, vainas por planta, granos por vaina, plantas cosechadas y rendimiento, además de un análisis económico. Los resultados mostraron diferencias entre tratamientos, destacando el manejo mixto (T4), el cual alcanzó el mayor rendimiento con aproximadamente 1,550 kg ha, superando al tratamiento convencional (T2) con 1,420 kg ha y al tratamiento orgánico (T5) con 1,360 kg ha; asimismo, presentó mayor biomasa (99.2 g en peso húmedo y 22.5 g en peso seco) y una densidad de 220,000 plantas ha. En términos económicos, el tratamiento T4 mostró la mayor relación beneficio/costo, evidenciando que la integración de biofertilizantes con fertilización química reducida en un 50 % mejora la eficiencia productiva y reduce la dependencia de insumos sintéticos. Se concluye que el uso combinado de biofertilizantes y fertilización química representa una alternativa viable, rentable y sostenible para la producción de frijol común bajo condiciones similares a las del estudio.

I. INTRODUCCIÓN

El uso excesivo de fertilizantes químicos en la agricultura ha generado grandes repercusiones preocupantes como el deterioro del suelo, la contaminación progresiva de fuentes de agua y la pérdida de biodiversidad, ante este problema los biofertilizantes se presentan como una alternativa sostenible capaz de mejorar la nutrición de las plantas sin alterar el equilibrio natural del medio, estos productos biológicos contienen microorganismos benéficos como algunas bacterias que fijan nitrógeno y hongos que hacen simbiosis con las plantas, que mejoran la absorción de nutrientes, fortalecen el crecimiento vegetativo y mejoran la resistencia de la planta frente a condiciones difíciles. Su aporte en los sistemas de cultivo permite reducir el uso de fertilizantes químicos, disminuyendo costos y mejorando una producción ambientalmente responsable.

El mal manejo y uso excesivo de fertilizantes químicos ha generado compactación, degradación y pérdida de fertilidad de los suelos así dificultando los trabajos agrícolas (Onofre, 2023). Los biofertilizantes, por su parte, presentan ventajas favorables, originan procesos rápidos, requieren poca energía y no contaminan el medio ambiente. Esta tecnología incrementa la fertilidad del suelo y favorece el control biológico de organismos fitopatógenos que pueden ocasionar daños importantes a las parcelas de producción. (Alonso, 2011).

Los fertilizantes orgánicos no solo ayudan aportar a nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de la planta, sino que también mejoran la calidad del suelo y favorecen la proliferación de microorganismos benéficos (Consumidor, 2021). En este contexto, el frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) es un alimento básico de gran importancia a nivel mundial y un modelo ideal para evaluar la eficacia de los biofertilizantes.

Durante el desarrollo del estudio se observó que el manejo nutricional aplicado influyó de manera directa en el comportamiento del cultivo de frijol común. Las variables evaluadas mostraron respuestas diferenciadas entre tratamientos, evidenciándose cambios en el crecimiento de las plantas, la producción de vainas, la nodulación, la biomasa y el rendimiento. Estos resultados reflejan que la forma en que se suministran los nutrientes juega un papel importante en el desempeño agronómico del cultivo, especialmente bajo condiciones de campo.

Asimismo, los resultados obtenidos permiten apreciar que el uso de biofertilizantes, tanto de forma individual como en combinación con fertilización convencional, tuvo un efecto positivo en varias de las variables productivas evaluadas. En particular, se observaron diferencias en el rendimiento y en la rentabilidad del cultivo, lo que pone de manifiesto la importancia de evaluar no solo la respuesta agronómica, sino también el impacto económico de las prácticas de manejo utilizadas.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Evaluar el impacto de la nutrición mediante biofertilizantes como una estrategia sostenible para la producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris*).

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la respuesta de las plantas de frijol común en términos de variables de crecimiento y de rendimiento, al utilizar biofertilizantes como fuente de nutrición.
- Valorar el aporte de los biofertilizantes en la producción de nódulos radiculares y la nutrición de las plantas de frijol.
- Analizar los costos asociados del uso de biofertilizantes frente a los fertilizantes convencionales, considerando factores como reducción de insumos y mejora en la producción.

III. REVISION DE LITERATURA

3.1. Sistemas agroalimentarios sostenibles

La agricultura sostenible busca mantener la producción a largo plazo sin que se comprometan los recursos naturales, En Honduras esto implica hacer prácticas como la rotación de cultivos, el buen manejo del agua y la disminución del uso de agroquímicos. Un ejemplo claro de sostenibilidad es la agroecología, una técnica de origen ancestral que continúa siendo buena en la actualidad. (Rural, 2020).

Para que una agricultura sea sostenible se debe tomar en cuenta las necesidades de las generaciones actuales y del futuro, asegurando así la rentabilidad, la protección del medio ambiente y la justicia social. La producción y el consumo sostenibles de alimentos apoyan los cuatro pilares fundamentales de la seguridad alimentaria que son; disponibilidad y acceso, consumo y aprovechamiento de alimentos, así como las tres dimensiones de la sostenibilidad: ambiental, social y económica. La F.A.O busca impulsar la agricultura con el objetivo de apoyar a los países en el cumplimiento del Hambre Cero y de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (FAO, 2024).

Los siguientes son principios fundamentales de sostenibilidad para la alimentación y la agricultura:

- Aumentar la productividad el empleo y el valor agregado en los sistemas agroalimentarios.
- Proteger los recursos naturales.
- Mejorar los medios de subsistencia y fomentar el crecimiento económico sostenible.
- Potenciar la resiliencia de las comunidades y de los ecosistemas.
- Adaptarse a los nuevos retos.

Las prácticas soatenibles en agricultura, ganadería, silvicultura y pesca son más efectivas cuando se aplican de una forma integral y complementa, ya que se promueven el acceso a los alimentos con alto valor nutricional y ayudan a disminuir la desnutrición. En américa latina y el caribe, la FAO ha desarrollado enfoques innovadores para incrementar la productividad de manera sostenible fomentando así la adopción y el intercambio de buenas prácticas agrícolas, con atención en agricultura familiar y a la participación de las comunidades rurales (FAO, 2015).

3.1.1. Políticas públicas de éxito en otros países que han impulsado para cambiarse hacia sistemas agroalimentarios sostenibles.

La Estrategia de la Granja a la mesa de la unión europea que fue lanzada en 2020, forma parte central del pacto verde europeo y busca cambiar el sistema alimentario hacia un modelo más sostenible entre sus objetivos se encuentra lograr que por lo menos un 25 % de la superficie agrícola se maneje bajo una producción orgánica y reducir en un 50 % el uso de pesticidas y en un 20 %y el uso de fertilizantes químicos para el año 2030. Esta estrategia incorpora acciones desde la producción agrícola hasta el consumidor final, con énfasis en la reducción del impacto negativo ambiental, la mejora de la salud pública y el fomento de la economía rural (European Commission, 2020).

En Escocia, la ley (Nación de Buena Comida) aprobada en el 2022, establece la obligación para el gobierno y las autoridades locales de elaborar buenos planes integrales de alimentación que cumplan con la sostenibilidad ambiental, el bienestar económico y la salud de su población, esta política promueve un enfoque entre productores, consumidores y organizaciones públicas para garantizar el acceso a alimentos saludables, producidos de una manera sostenible y con beneficios sociales a largo plazo (Scottish Government, 2022).

Dinamarca lanzo en el 2023 un plan nacional para impulsar el consumo y la producción de alimentos de origen vegetal como parte de una estrategia de sostenibilidad alimentaria, el plan incluye capacitación a cocineros de comedores públicos y privados, campañas de sensibilización a los consumidores, incentivos a agricultores y financiamiento para investigación e innovación.

Con un presupuesto de casi 109 millones de euros esta política busca reducir la huella del sistema agroalimentario y mejorar la salud de la población (Ministerio de Alimentación, Agricultura y Pesca de Dinamarca, 2023).

En 2021, Quezon City en Filipinas implemento una política de compras públicas que establece estándares obligatorios de nutrición y sostenibilidad para todos los alimentos adquiridos por instituciones municipales como hospitales, escuelas y oficinas públicas, esta iniciativa también fomenta la participación de pequeños productores, reduciendo la dependencia de alimentos en exceso procesados y así incentivando buenas prácticas agrícolas (FAO, 2022).

3.1.2. Ventajas de la agricultura sostenible

El impacto ambiental de la agricultura sostenible es reducido ya que busca emplear tecnologías y metodologías con el menor daño posible, las fincas sostenibles evitan el uso de agrotóxicos y fertilizantes químicos semillas transgénicas y antibióticos en los animales, también prevenir la generación excesiva de desechos mediante una buena gestión de residuos agrícolas, estos aspectos benefician la salud, al producir alimentos más sanos y ofrecer procesos de cultivo más seguros para las personas que los trabajan. (Kogut, 2024).

Por otra parte, Kogut (2024) menciona que la agricultura sostenible también busca promover y apoyar el bienestar de los animales. los granjeros crían a sus animales en condiciones similares a las naturales para disminuir el estrés, el dolor, las enfermedades y el sufrimiento del ganado etc. En el aspecto social de la agricultura sostenible implica el replanteamiento de las granjas familiares y comunidades rurales. uniendo otras estrategias la agricultura sostenible puede ayudar a aumentar el nivel de ocupación, educación, salud y asimismo cómo cubrir las necesidades culturales y también espirituales.

Al contrario, los monocultivos de la agricultura convencional, muchos sistemas agrícolas tradicionales, que aún continúan en varios países en vías desarrollo, ofrecen una amplia gama de opciones y diseños de manejo que aumentan la biodiversidad en los campos de cultivo, y por consiguiente, aumentan la resiliencia de los agroecosistemas (Altieri *et al.*2017).

La agricultura sostenible mantiene los rendimientos agrícolas a largo plazo, si no que mejora la salud del suelo y aumenta su capacidad de retener nutrientes y aumenta la rentabilidad de los productores, estudios muestran que, después de 20 años de prácticas agroecológicas como rotación de cultivos, uso de abonos orgánicos y un manejo integrado, la rentabilidad la biodiversidad del suelo y la calidad física, química de éste aumentan hasta en un 25 %, sin reducir su productividad (Raveloaritiana, *et.al* 2024).

En Costa Rica, la práctica de principios de agricultura regenerativa incrementó el carbono en el suelo de 1,65 % a 4,05 % en tan solo seis meses y el nitrógeno total de 0,14 % a 0,37 % al año, estos cambios mejoran la fertilidad y aumentan la disponibilidad de los nutrientes y por lo tanto un mayor rendimiento esperado en cultivos (Prades, 2022).

En américa latina existen testimonios exitosos donde se ha logrado reducido la dependencia de fertilizantes químicos usando biofertilizantes y prácticas más agroecológicas, en Argentina, un módulo agroecológico evaluado por el (INTA) produjo 3,452 kg/ha prácticamente igual que el sistema convencional 3,534 kg/ha, pero con un costo 190 \$/ha menor, gracias a disminuir insumos químicos (INTA, 2021).

En Brasil, el sistema integrado de agricultura, ganadería y silvicultura ha demostrado aumentar la productividad, bajar emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la sostenibilidad todo ello sin comprometer la calidad de los suelos (Embrapa, 2025).

3.2. Agricultura convencional

La agricultura convencional se conoce por usar maquinaria agrícola, semillas mejoradas y fertilizantes, pesticidas para controlar plagas, con el propósito principal de satisfacer la demanda de alimento del mercado priorizando la productividad. En el pasado esta forma de agricultura no se consideraba los impactos ambientales de las prácticas, sin embargo, hoy en día un número creciente de agricultores aplica enfoques más sostenibles, disminuyendo el uso de productos agrícolas y promoviendo la salud de los suelos, el ahorro de agua y energía, etc. (ALLTECH, 2021).

La agricultura convencional en Honduras y toda Centroamérica se ha desarrollado a partir del siglo XX, con el propósito de maximizar la producción a través del uso excesivo de fertilizantes químicos, pesticidas y maquinaria pesada, este modelo, aunque si ha incrementado la producción ha generado impactos negativos en el medio ambiente y en la salud de las personas (Martínez *et al.*, 2022).

La historia refleja que la agricultura convencional se posicionado durante las políticas de modernización agrícola implementadas en el siglo pasado, enfocadas en cultivos de exportación y monocultivos que remplazaron prácticas tradicionales más diversas (González & Pérez, 2021). En Honduras estos cambios estuvieron atados también a reformas agrarias que no pudieron tener una redistribución efectiva de la tierra ni un desarrollo sostenible (López, 2023).

3.2.1. Desventajas de la agricultura convencional

La agricultura convencional presenta tanto beneficios como desafíos, su principal desventaja es el uso de fertilizantes químicos productos fitosanitarios, además de ciertas prácticas insostenibles que provocan el deterioro de los ecosistemas y la disminución de la resistencia de las plantas a plagas y enfermedades. Como consecuencia se produce la degradación continua de la microbiología, la pérdida de fertilidad del suelo y la contaminación de los sistemas freáticos. (Franquesa, 2022).

La agricultura convencional encuentra la degradación del suelo por el abuso excesivo de químicos la contaminación de fuentes hídricas, la aparición de plagas y malezas más resistentes a los productos que los controlan, así como la disminución de la biodiversidad causada por las prácticas de monocultivo (agrawdata, 2024). Además, el aumento de los costos de los fertilizantes sintéticos impulsado por la subida de los precios del gas natural, ha generado preocupación en los actuales gobiernos ante el riesgo de una crisis alimentaria global. (Politico, 2021)

La degradación continua de los suelos debido al uso excesivo de agroquímicos y no hacer rotación de cultivos lo que afecta la estructura y fertilidad de los suelos a mediano y largo plazo (Ramírez *et al.*, 2021). Además, la contaminación del agua por escurrimientos de pesticidas y fertilizantes ha provocado impactos negativos en la biodiversidad del agua y en la salud de las personas (Sánchez *et al.*, 2020).

La destrucción del paisaje natural mediante monocultivos ha contribuido a la pérdida de biodiversidad, incrementando la susceptibilidad de los cultivos a plagas y enfermedades, lo que de una y otra forma fomenta una mayor dependencia en insumos más costosos para el productor (Vargas & Morales, 2023). Esta dependencia limita la autonomía económica y ambiental de los agricultores incrementando riesgos económicos (Fernández *et al.*, 2022).

Un estudio reciente en Honduras midió la productividad del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) bajo manejo convencional y otro orgánico, encontrando que, aunque el rendimiento del sistema convencional fue al principio mayor, el manejo orgánico mejoró significativamente la calidad del suelo y la resistencia a plagas en el tiempo. (Chávez *et al.*, 2022).

Investigaciones realizadas en Centroamérica reportaron que el manejo orgánico del frijol con el uso de biofertilizantes y prácticas de conservación, puede alcanzar rendimientos comparados al sistema convencional, mientras que nos mejora la salud del suelo y reduce el impacto ambiental (Gutiérrez *et al.*, 2023).

3.3. Biofertilizantes

Los biofertilizantes son elaborados a partir de uno o más microorganismos beneficiosos, principalmente bacterias y hongos que mejoran la solubilidad y disponibilidad de nutrientes para las plantas, entre sus principales ventajas destacan la reducción de los costos de producción la protección del medio ambiente y el incremento de la fertilidad y biodiversidad del suelo, aunque su uso es común en la agricultura orgánica, también se recomienda aplicar en sistemas tradicionales, según su función los biofertilizantes pueden clasificarse en cuatro grupos principales que son; fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fósforo, fijadores de fósforo y promotores del crecimiento.(INTAGRI, 2021).

Los biofertilizantes son productos que contienen microorganismos vivos que al ser aplicados a semillas en plantas o suelo mejoran la disponibilidad y absorción de nutrientes, promoviendo así el crecimiento y desarrollo. Se clasifican en biofertilizantes líquidos y sólidos. Los líquidos son acuosos que facilitan la aplicación foliar o al suelo, mientras que los sólidos incluyen formulaciones con portadores como turba, compost o polímeros que protegen y aumentan la viabilidad microbiana (Mendoza *et al.*, 2022).

Los portadores orgánicos como la turba y el compost ofrecen un medio nutritivo que favorece la supervivencia de los microorganismos mientras que los polímeros, por ejemplo, alginatos permiten una liberación lenta, aumentando la eficacia del biofertilizante en condiciones difíciles (Ramírez & Cruz, 2023).

Los microorganismos presentes en los biofertilizantes actúan mediante varios mecanismos fisiológicos, uno de los principales es la producción de fitohormonas como auxinas, citoquininas y giberelinas que regulan el desarrollo radicular y el aumento celular mejorando así la absorción de agua y nutrientes. (Flores *et al.*, 2021).

Se solubilizan sideróforos compuestos que secuestran hierro del suelo, haciéndolo más disponible para las plantas y limitando la proliferación de algunos patógenos (Gómez *et al.*, 2022). Además, algunos microorganismos fijan el nitrógeno atmosférico, mientras que otros solubilizan fósforo y potasio facilitando la nutrición mineral sin necesidad de el uso agroquímicos (Torres *et al.*, 2020).

En regiones con climas cálido y suelos de textura franca - arenosa, similares a Caticamas, se han reportado resultados positivos en el uso de biofertilizantes para frijol común (*Phaseolus vulgaris*), un estudio realizado en la zona de Olancho mostró que la aplicación de biofertilizantes sólidos con portadores de compost mejoró significativamente la biomasa y el rendimiento del cultivo además de aumentar la actividad microbiana del suelo (Hernández *et al.*, 2023).

De la misma manera, la combinación de biofertilizantes líquidos con algunos bioestimulantes en condiciones semiáridas permite una mejor tolerancia al estrés hídrico y una mayor eficiencia de la absorción de nutrientes en el cultivo de frijol, mejorando un crecimiento más vigoroso (López *et al.*, 2022). Estas experiencias son importantes para zonas como Caticamas, donde sus condiciones climáticas y de suelo son parecidas.

3.3.1. Funciones de los biofertilizantes

Los microorganismos de los cuales se componen los biofertilizantes son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico, así como solubilizar diferentes minerales del suelo haciéndolos disponibles para las plantas. Todo ello mediante un proceso natural, extrayendo los elementos del mismo suelo y poniéndolos a disposición de las plantas, estos microorganismos, conocidos como rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas constituyen bacterias que habitan en la rizosfera y colonizan las raíces de las plantas, influyendo positivamente en el desarrollo de las plantas. Se trata de una clasificación que engloba a todas aquellas bacterias capaces de aumentar el crecimiento de las plantas (Research, 2022).

Distintas investigaciones han evidenciado que los biofertilizantes logran disminuir la dependencia de fertilizantes convencionales, gracias a sus funciones, entre ellas la mejora en la absorción de nutrientes y agua por las plantas. Esto se logra mediante la asociación simbiótica entre los microorganismos y los tejidos vegetales o a través del aprovechamiento de reacciones metabólicas naturales realizadas por dichos microorganismos. (Espinosa *et al.*, 2017).

Los fijadores de nitrógeno: son un grupo de bacterias que establecen una relación simbiótica con las plantas, proporcionándole un ambiente rico en nitrógeno asimilable gracias a la acción de la enzima nitrogenasa bacteriana, la relación entre estas bacterias y las células vegetales de la raíz da lugar a la formación de nuevas estructuras llamadas nódulos radiculares, los cuales son responsables de llevar a cabo la fijación del nitrógeno. (García, 2011).

Solubilizadores de fósforo son un conjunto de bacterias que mediante una serie de procesos metabólicos de las mismas generan formas asimilables de fosforo para las plantas. Esto según (Corrales *et al.* 2014), Los principales procesos por los que se crean fosfatos asimilables son:

- ❖ La acidificación del suelo mediante la producción de ácidos orgánicos, estos ácidos derivados de la oxidación directa de la glucosa. Al disminuir el pH del suelo da lugar a la transformación de los complejos iones metálicos en fosfatos solubles asimilables para la planta.
- ❖ Hidrolisis del fosfato orgánico. Este proceso es realizado por las bacterias bajo condiciones específicas tales como niveles bajos de fósforo y presencia de materia orgánica. Bajo el cumplimiento de estas condiciones la bacteria iniciará la producción de enzimas fosfatasas que se liberaran al medio dando lugar a la hidrólisis de los enlaces éster del fosfato orgánico, generando fosfatos asimilables.

Solubilizadores de potasio como proceso para la generación de potasio soluble por parte esencial de las bacterias presentes en los biofertilizantes destaca acidificación del suelo mediante liberación de ácidos orgánicos. Las bacterias pueden iniciar este proceso mediante tres vías: vía fermentativa, ácidos orgánicos originados como un subproducto de procesos metabólicos vía catabólica, proceso oxidativo de macromoléculas como proteínas y polisacáridos complejos, vía excretora por déficit de nutrientes esenciales las bacterias generan excreciones ricas en ácidos orgánicos (Jalixto, 2018).

3.3.2. Ventajas y beneficios

- El aumento de la fertilidad y la biodiversidad del suelo. Gracias al desarrollo de microorganismos beneficiosos.
- Se aumenta la captación de agua, nutrientes y minerales gracias a la fijación de carbono en sí mismo y la recuperación de materia orgánica del suelo, así como el aumento de alcance radicular promovido por las micorrizas.
- Mejora la estructura del suelo y su aprovechamiento.
- Reduce de la degradación del suelo.
- Incrementa de la producción agrícola.
- Disminuye costos de producción (Research, 2022).

Los microorganismos fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforos son utilizados actualmente como base para la fabricación de biofertilizantes los cuales son insumos biológicos de gran relevancia en la agricultura ecológica debido a que promueven la circulación de nutrientes requeridos por las plantas y reducen la necesidad de aplicar fertilizantes químicos, estos insumos tienen la habilidad de convertir elementos nutricionalmente importantes para las plantas desde su forma no disponible hasta forma disponible, a través de procesos biológicos (Beltran, 2022).

Actualmente en el desarrollo de biofertilizantes deben considerar algunos aspectos, entre los cuales se destacan, la selección y evaluación de cepas nativas efectivas para obtener rendimientos óptimos y sostenibles, potenciar la interacción planta y microorganismo, cultivos, la respuesta a factores ambientales y preservación de recursos microbianos nativos, la investigación sobre formulaciones mejoradas de inoculantes, vida útil, beneficios residuales persistencia y adaptaciones al estrés de cepas microbianas, el monitoreo del control de calidad en las etapas de producción, distribución aplicación en campo mediante el cumplimiento estricto de los lineamientos y regulaciones (Díaz, 2020).

Díaz (2020) Para poder lograr una agricultura sostenible, es fundamental implementar el uso de biofertilizantes con algunas prácticas agroecológicas adaptadas a los distintos sistemas de cultivo. Además, se propone un diseño y una implementación de políticas y estrategias que aseguren que los biofertilizantes lleguen de manera eficiente a diversos actores, como los agricultores e instituciones de investigación y formación, así como organizaciones públicas y privadas. Finalmente, Díaz recalca la importancia de crear nexos entre instituciones locales, el sector privado y entidades de investigación, ya que estas redes facilitarían el desarrollo de modelos efectivos para producir biofertilizantes utilizando microorganismos nativos de las regiones donde se aplicarían.

La mejora de los biofertilizantes es importante, ya que han demostrado ser efectivos y tener un impacto positivo en la producción agrícola. Entre algunos de sus beneficios se incluye promover el crecimiento vegetal, el aumento de la productividad con costos más reducidos, la mejora de la calidad del suelo, el control de enfermedades causadas por microorganismos patógenos y plagas y la contribución a mejores condiciones ambientales.(Ocaña, 2021).

Los biofertilizantes que contienen microorganismos fijadores de nitrógeno son de los más utilizados, no solo por la relevancia del nitrógeno, si no también debido a la gran diversidad taxonómica de estos microorganismos. Además, presentan distintos modos de vida y formas de asociación con diversas especies de plantas ya sea en la superficie de tejidos foliares o radiculares. (Walia *et al.* 2013).

También se ha encontrado que la fijación de nitrógeno presenta tasas más elevadas en la superficie de la raíz que en el suelo de la rizosfera, pues en la primera se obtienen rendimientos de hasta 30 g/L para microorganismos como *Azotobacter chroococcum*, *A. beijerincki* y *A. vinelandi*. Este fenómeno probablemente se deba a la cantidad y la calidad de los derivados de carbono y ha algunas sustancias promotoras, provenientes de la raíz, que favorecen el aumento de la biomasa microbiana fijadora de nitrógeno. (Ravikumar *et al.* 2004).

Esto evidencia que las bacterias promotoras del crecimiento vegetal y los *rizobios* juegan roles de vital importancia en la matriz del suelo, pues por poseer enzimas para fijar nitrógeno son capaces de abastecer de este elemento a diversos cultivos (Tan *et al.* 2014). En el caso de *Azospirillum brasilense* se han encontrado los siguientes beneficios: incrementos mayores al 18% en la biomasa total de las plantas (Salantur *et al.* 2006), estímulo del crecimiento de hasta el 72% en los brotes de plantas (Vootla *et al.* 2014) y aumento en más del 50% en el área foliar (Aseri *et al.* 2008).

Algunas especies de *Rhizobium*, además de fijar nitrógeno atmosférico, incrementan el crecimiento, rendimiento y número de nódulos por raíz y movilizan fósforo. Las investigaciones recientes en este género bacteriano como promotor del crecimiento vegetal se enfocan en analizar su efecto sobre la estructura de las comunidades microbianas asociadas a la raíz, desarrollar biofertilizantes para múltiples cultivos de leguminosas, introducir células de *Rhizobium* dentro de semillas mediante tecnología de vacío para evitar pérdidas del inóculo, evaluar el efecto de la coinoculación de *Rhizobium* y esporas de endomicorrizas (Passricha *et al.* 2020).

Bacillus este es el género más abundante en la rizósfera, cepas de *B. subtilis*, *B. megaterium*, *B. mucilaginosus*, *B. pumilus* y *B. licheniformis* son las especies más estudiadas por su capacidad de colonización, solubilización de potasio y fósforo aumento del desarrollo, longitud y materia seca de la raíz y rendimiento de las plantas. determinar el tiempo de cosecha para maximizar el contenido nutricional de frutos biofertilizados con cepas de *Bacillus* y analizar el nivel de expresión del potencial genómico de cepas de *Bacillus* durante la interacción planta-rizósfera (Borriss. 2020).

3.3.3. Importancia de la biodiversidad para una agricultura sostenible

La agricultura y la biodiversidad son elementos esenciales para la existencia y la supervivencia de todas las formas de vida, en la actualidad los esfuerzos del sector agrícola por adoptar estrategias que favorezcan al medio ambiente se han intensificado, dando lugar al concepto de biodiversidad agrícola. (BASF, 2023).

La conservación y el uso sostenible de la biodiversidad presentan uno de los mayores desafíos para la humanidad, la biodiversidad es primordial para la agricultura, ya que esta proporciona genes y servicios ecológicos vitales, sin embargo la agricultura es también la principal amenaza así biodiversidad por simplificar los agroecosistemas y al uso de pesticidas. Cuando se maneja y organiza adecuadamente la biodiversidad desempeña un papel importante al suministrar recursos genéticos y funciones ecológicas esenciales para el buen funcionamiento de los agroecosistemas. (Sarandon, 2020).

Aunque los organismos del suelo sean poco conocidos, son de gran importancia para la salud de éste. Sin ellos la descomposición de la materia orgánica no fuera posible. Nada de lo que penetrase en el suelo se podría descomponer. Los organismos del suelo son por tanto, responsables del ciclo de la materia orgánica y de poner los nutrientes a disposición de las plantas, también pueden estimular el desarrollo de las raíces de las plantas y aumentar su resistencia al estrés mientras que reducen el crecimiento de hongos. (Świtek, 2024)

3.3.4. Aplicación del Biofertilizante

El biofertilizante puede ser utilizado en una gran variedad de plantas sean de ciclo corto, anuales o perennes, gramíneas, forrajeras, leguminosas, frutales, hortalizas, raíces, tubérculos y ornamentales entre otras con aplicaciones dirigidas al follaje o al suelo, a la semilla y a la raíz y han demostrado tener gran eficiencia en cuanto a nutrición de muchos cultivos, los cuales tienden a tener gran absorción de manera foliar, como aplicaciones al drench (Sucari, 2024).

La aplicación de los biofertilizantes en los cultivos es foliar y los mejores horarios, para hacer esta tarea se recomiendan las primeras horas de la mañana hasta más o menos las diez de la mañana y en las tardes, después de las 4:00 pm para aprovechar que en estos horarios hay una mayor asimilación de los biofertilizantes porque hay una mayor cantidad de estomas abiertos. Se recomienda que su aplicación sea realizada preferiblemente en la parte del envés (Rivera J. R., 2007).

Rivera (2007), menciona que las aplicaciones de los biofertilizantes sobre el suelo, se deben hacer sobre la cobertura verde del mismo o sobre la propia superficie del suelo después de haber realizado una limpieza o chapia lo que estimulará la evolución mineral y biológica de la formación de suelos más fértiles, nutritivamente diversificados y más profundos. La aplicación del biofertilizante sobre la superficie de los suelos, se debe hacer de forma concurrente cuando se están tratando los cultivos.

De acuerdo con Afanador (2017), en cultivos de ciclo corto como fríjol y maíz, se pueden hacer de 6 hasta 8 aplicaciones durante el ciclo que dure el cultivo. En concentraciones que pueden variar entre el 3% y el 5% o sea se mezclan de 3 a 5 litros del biofertilizante por cada 100 litros de agua que se desean aplicar en los cultivos otra forma de dosificar es utilizar de 750 cc a 1 litro por bomba o mochila de 20 litros.

La aplicación de biofertilizantes ha evolucionado incorporando métodos más efectivos para mejorar y eficacia de los microorganismos en el suelo, técnicas como la encapsulación permiten proteger a los microorganismos, facilitando una liberación lenta y prolongada en el ambiente (García *et al.*, 2022). Así mismo el uso de bioles microbianos como conductores de inoculación mejora la adherencia al suelo y la resistencia frente a condiciones adversas aumentando la persistencia y actividad biológica. (Morales & Díaz, 2021).

Factores ambientales juegan un papel fundamental en la efectividad de los biofertilizantes. Es el pH del suelo influye en la viabilidad microbiana y en la disponibilidad de nutrientes la mayoría de los microorganismos promotores del crecimiento prefieren un pH neutro a ligeramente ácido de 6.0 a 7.5, (Pérez *et al.*, 2023). La temperatura afecta la actividad metabólica, donde rangos extremos reducen la eficiencia del inoculante (Torres, 2020). Además, la humedad del suelo es crítica, ya que la falta de agua limita la movilidad y proliferación microbiológica mientras que exceso puede generar condiciones anaeróbicas perjudiciales (Castillo *et al.*, 2022).

El cultivo también condiciona la respuesta al biofertilizante, las plantas presentan diferentes asociaciones microbianas naturales y requerimientos nutricionales, lo que implica que la selección y aplicación del inoculante debe ser específica para cada especie o incluso para variedades particulares, maximizando así el beneficio (Santos *et al.*, 2021).

En frijol, por ejemplo, se ha demostrado que ciertas cepas mejoran más su crecimiento y rendimiento bajo aplicaciones controladas adaptadas a las condiciones locales de suelo y el clima (Rojas *et al.*, 2023).

3.4. Fertilización química

La fertilización química ha sido fundamental para el aumento de la producción agrícola en los últimos 60 años maíz 157%, arroz 109% y trigo 25%. Sin embargo, su uso excesivo ha generado un creciente problema sobre su sostenibilidad en el tiempo, este es el aspecto cuestionado de la agricultura actual. Los impactos negativos al medio ambiente, ecosistemas y el suelo por la aplicación de fertilizantes químicos están bien identificados, en suelos degradados y poco fértiles, su aplicación es poco eficiente, lo que genera grandes pérdidas económicas para los agricultores (Manzano, 2024).

A principios del siglo XX, químicos alemanes Fritz Haber y Carl Bosch desarrollaron un método para hacer uso del nitrógeno del aire y fusionarlo con hidrógeno este fue uno de los grandes avances científicos del siglo pasado, los dos elementos combinados produjeron amoníaco en su forma líquida, un ingrediente clave en los fertilizantes actuales que impulsaría una expansión agrícola sin retorno y nos ayudaría a alimentar a un mundo en crecimiento, pero no todos sus efectos han sido positivos, durante estos últimos 100 años.

La cantidad de compuestos nitrogenados artificiales en el agua, el suelo y el aire se ha incrementado, un aumento impulsado en parte por el uso generalizado de fertilizantes químicos (ONU, 2020).

Algunos importantes impactos negativos de los fertilizantes sobre el agua son, lixiviación, aguas subterráneas y superficiales, en el caso del suelo los impactos negativos son; variación del pH, deterioro de la estructura del suelo y por último el efecto en el aire se debe principalmente a la mala aplicación de estos fertilizantes.

La acidificación de los suelos y sistemas de agua dulce, se produce por la captación y asimilación del amonio por las raíces de las plantas, en el proceso de nitrificación y lixiviación del nitrato. Por último, la toxicidad directa se produce por el amoníaco y el dióxido de nitrógeno ambos en estado gaseoso (Ulibarry, 2019).

3.4.1. Tipos de fertilizantes químicos

El fertilizante DAP 18-46-00 es uno de los más utilizados en la agricultura y su nombre es una abreviatura de Diammonium phosphate, que en el español se traduce como fosfato diamónico, este fertilizante es reconocido por su concentración de nutrientes estipulada en números en el orden de nitrógeno, fósforo y potasio. En el caso del DAP 18 46 00, éste contiene un 18% de nitrógeno y 46% de fósforo, pero un 0% de potasio (Granados, 2024)

La urea es la principal fuente de fertilizantes nitrogenados en el mundo, especialmente en países en vías desarrollo, El N⁺ se puede aplicar al suelo después de la siembra y al ser un fertilizante de acción ácida, se puede utilizar en suelos con PH neutros o ligeramente alcalinos, hace reaccionar amoníaco y dióxido de carbono en presencia de un catalizador, en un recipiente especial a temperaturas entre 170 y 210 °C y presiones que oscilan entre 170 a 400 atmósferas. (Morales *et al.* 2021).

Igualmente, Granados (2024). Comenta que, la fórmula de fertilizantes generalmente se encuentra escrita en la etiqueta del producto y sigue un patrón numérico N P K, donde N es el porcentaje de nitrógeno, P el porcentaje de fósforo y K el porcentaje de potasio, cada uno con su importante función en el crecimiento de las plantas. Un fertilizante triple 15-15-15 tiene una concentración nutricional de 45% con contenidos de 15%, 15% y 15% de N P K respectivamente. Es decir, que en 100 lb de 15-15-15 posee 15 libras de N, 15 libras de P y 15 libras de K, el 55% restante es material inerte.

3.5.Generalidades del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*)

Dentro del grupo de las leguminosas, el frijol es una de las más importantes. Es una planta anual, intensamente cultivada desde la zona tropical hasta las zonas templadas. Es originario de América y se le conoce con diferentes nombres: poroto, haricot, caraota, judía, aluvia, habichuela etc. El frijol es uno de los alimentos básicos en la dieta de los países latinos y es la principal fuente de proteína es rico en lisina, pero deficiente en los aminoácidos metionina, cistina y triptófano por lo cual una dieta adecuada en aminoácidos necesaria, se logra al combinar frijol con otros cereales como el arroz y maíz. (SAG, 2014).

El frijol común (*Phaseolus vulgaris*) es originario de América y representa un aporte proteico de un 15 a 30%, calórico de 340 calorías en 100g de granos secos, por lo que se considera uno de los alimentos básicos para los seres humanos. Se cultiva con un rendimiento promedio de 0.683t/ha. (Garra *et al.* 2011).

El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) presenta un ciclo fenológico que comprende varias etapas clave, germinación, emergencia, desarrollo vegetativo, floración, formación de vainas y maduración, la duración total del ciclo varía según la variedad y condiciones ambientales, pero generalmente oscila entre 70 y 110 días eso va a depender de la variedad que sea. (Pérez *et al.*, 2021).

Durante la germinación y emergencia el frijol requiere un aporte adecuado de agua y temperaturas medias para lograr una rápida activación metabólica y desarrollo radicular inicial (Gómez & Martínez, 2022). En la etapa de su desarrollo vegetativo la planta demanda mayores cantidades de nitrógeno para la formación de su biomasa y crecimiento foliar, además de eso fósforo y potasio para el desarrollo radicular y fortalecer los tallos (López *et al.*, 2023).

La floración es una etapa crítica que requiere un balance nutricional, enfatizando el nitrógeno y el potasio, para garantizar una buena formación de flores y evitar posibles abortos. seguido, durante la formación de vainas y llenado del grano el frijol demanda altos niveles de potasio y micronutrientes como calcio y magnesio para el correcto llenado y calidad de la semilla (Ramírez *et al.*, 2020).

Por último, en la maduración, la planta reduce su actividad metabólica y requiere menor aporte nutricional, aunque si se recomienda evitar estrés hídrico para prevenir las pérdidas en rendimiento (Sánchez *et al.*, 2021).

3.5.1. Variedades de frijol adaptadas a la región de Olancho

Olancho se caracteriza por tener clima tropical húmedo y suelos franco arenosos, se cultivan diversas variedades adaptadas a estas zonas. Entre ellas las variedades más utilizadas son:

Amadeus 77 variedad mejorada de ciclo medio con una buena resistencia a enfermedades y adaptables a suelos pobres (Hernández *et al*, 2022).

Seda variedad criolla local, apreciada por su resistencia al estrés hídrico y sabor característico, aunque con menor rendimiento en comparación con mejoradas (Méndez, 2023).

ICA Pijao introducida especialmente para zonas con alta precipitación, destaca por su resistencia a hongos y buena respuesta a fertilización orgánica (Ramírez *et al*, 2019).

3.5.2. Importancia del cultivo del frijol en América Latina y el Caribe

Los frijoles aportan ingresos a millones de personas especialmente mujeres y jóvenes, sobre todo en África y América Latina, los frijoles se han cultivado principalmente para el consumo de subsistencia, pero ahora se ha convertido en un cultivo comercial con cada vez más opciones de exportación (Alianza, 2024)

El frijol (*Phaseolus vulgaris*) ocupa un lugar central en la vida de América Latina y el Caribe. Su importancia va más allá de ser un alimento básico, pues es esencial para la seguridad alimentaria, la economía rural, la sostenibilidad, los diferentes aspectos que hacen que el frijol sea un cultivo indispensable. (Sangerman *et al*. 2010).

Las proteínas en el frijol representan entre el 20 y 25% del peso total de la semilla la variación en la concentración de proteína no sólo depende de los genes que controlan su síntesis y acumulación específicas sino también de genes que controlan otros factores claves, tales como la obtención de nutrientes, maduración, producción y tamaño de la semilla, y acumulación de almidón y de otros compuestos en la misma semilla (Gallegos 2023).

3.5.3. Características botánicas

Según el jardín botánico de (Santiago, 2024), el frijol es una planta herbácea anual, erecta o trepadora, con tallos que pueden ser duros casi sin pelos en su etapa adulta. Sus hojas tripinnadas tienen estípulas de tamaño mediano y folíolos que miden entre 4 y 15 cm de largo y 2,5 y 10 cm de ancho, con base redondeada bordes enteros y ápices agudo. Las flores se juntan en racimos axilares más cortos que las hojas, con bractéolas persistentes que suelen superar al cáliz bilabiado de 3 y 4 mm. El cáliz tiene cinco sépalos soldados y labios diferenciados, mientras que la corola puede variar de color entre blanco y amarillo, violeta u rojo, presenta un estandar suborbicular, alas adheridas y una quilla con ápice retorcido.

El frijol (*Phaseolus vulgaris*) es una leguminosa herbácea con un sistema radicular pivotante que forma nódulos fijadores de nitrógeno gracias a bacterias del género *Rhizobium*, su tallo puede ser erecto y también trepador, dependiendo de la variedad, y presenta hojas trifoliadas alternas de color verde, sus flores son papilionadas de colores variados como blanco, violeta y rosado, y se agrupan en racimos.

Es una legumbre que contiene entre 4 y 12 semillas, las cuales presentan diversidad en forma color y textura, es una planta anual entre 70 y 120 días adaptada a climas templados y cálidos, que prefiere por suelos bien drenados y ricos en materia orgánica M.O (Meza *et al*, 2015).

3.6. Factores que limitan la producción de frijol

La producción de frijol enfrenta varios factores limitantes en su rendimiento y sostenibilidad desde condiciones climáticas difíciles hasta prácticas agrícolas insostenibles, cada uno de estos factores representa un problema para los agricultores especialmente para aquellos pequeños y medianos productores. (Escoto *et al*, 2022).

La variabilidad climática causada por el cambio climático, afecta la estabilidad del cultivo las sequías, cada vez más frecuentes en distintas regiones, limitan el acceso al agua el cual es un recurso indispensable para el crecimiento del frijol, las lluvias intensas y repentinas pueden provocar encharcamientos, favoreciendo la proliferación de enfermedades y disminuyendo el rendimiento del cultivo, esta dependencia climáticas específicas aumenta

la vulnerabilidad del frijol a su vez, reduce su productividad en temporadas de clima malos para el desarrollo del cultivo. (Rainey *et al*, 2005).

3.7. Plagas con importancia económica en el cultivo de frijol.

Las plagas en el cultivo de frijol presentan una amenaza económica, ya que afectan tanto la cantidad y la calidad de la producción, su presencia reduce el rendimiento de las cosechas y en algunos casos deteriora el producto durante el almacenamiento en consecuencia su valor en el mercado y bajando la viabilidad para futuras siembras, setas pérdidas hacen que los productores inviertan en métodos de control, lo cual incrementa los costos de producción, por eso un manejo adecuado y la prevención de plagas son esenciales para garantizar la rentabilidad y sostenibilidad económica del cultivo de frijol (Sangerman *et al*. 2010).

Distintas plagas afectan el frijol y causando daños significativos en diferentes partes de la planta. Entre ellas, la gallina ciega (*Phyllophaga spp.*) destruye las raíces mientras que el barrenador del tallo (*Elasmopalpus lignosellus*) penetra el tallo y se alimentade las raíces ambos problemas pueden prevenirse con una buena preparación del suelo y control de malezas.

En el follaje, el lorito verde (*Empoasca kraemeri*) y la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) chupan la savia, el falso medidor (*Trichoplusia*) se devora hojas, vainas y flores; mantener el cultivo libre de malezas y aplicar rotación de cultivos son medidas efectivas. Además, la maya (*Diabrotica balteata*) y las babosas (*Deroceras spp.*) actúan como desfoliadoras, afectando el follaje, y el picudo de la vaina (*Apion godmani*) destruye las semillas se recomienda eliminar el rastrojo para controlar esta última plaga.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del área de trabajo

La investigación se realizó en la estación experimental Raúl René Valle, perteneciente a la Universidad Nacional de Agricultura localizada en el Barrio El Espino, en Catacamas, Olancho, situada a una latitud de 14° 54 04' N y una longitud de 85° 55 31 Oeste, con una altitud de 360 metros sobre el nivel del mar, en Catacamas los veranos son cortos calurosos, húmedos y parcialmente nublados y los inviernos son bajos, frescos y despejados, durante el transcurso del año la temperatura generalmente varía de 13 °C a 34 °C y rara vez baja a menos de 11 °C o sube a más de 35 °C, la temporada lluviosa dura 6,1 meses, de 21 de mayo a 23 de noviembre con una probabilidad de más del 22 % de que cierto día será un día mojado.

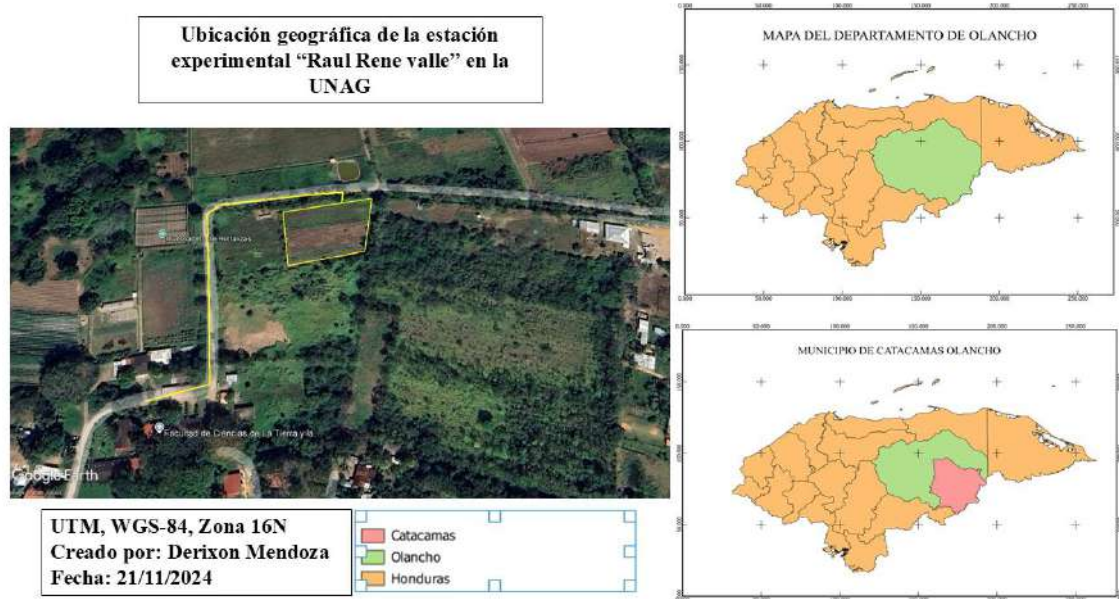


Figura 1. Mapa de ubicación de la estación experimental Raúl Rene Valle de la Universidad Nacional de Agricultura

4.2. Materiales y equipo

- Semillas de frijol: Utilizadas para la siembra en las parcelas experimentales.
- Estacas: Para demarcación de las parcelas y creación de estructuras.
- Cabuya: Para atar o fijar elementos de la parcela o estructuras de apoyo.
- Libreta de campo: Para registrar observaciones y datos relevantes durante el desarrollo del experimento.
- Machete: Herramienta para cortar maleza o cualquier material vegetal en el área de trabajo.
- Azadón: Para remover el suelo y facilitar la siembra.
- Piocha: Para trabajos de excavación o remoción de terreno duro.
- Rastrillo: Para nivelar el suelo y preparar la superficie antes de la siembra.
- Cinta métrica: Para medir el espaciamiento entre las plantas y las parcelas.
- Mochila de fumigación: Para la aplicación de biofertilizantes u otros tratamientos.
- Balanza: Para pesar las muestras de biomasa total y otros materiales.
- Computadora: Para análisis de datos, registro de resultados y redacción de informes.

4.3. Método

4.3.1. Preparación del terreno

Para la preparación del terreno se utilizó un tractor con su equipo de labranza, se procedió al levantamiento de camas de cultivo, las cuales tuvieron una longitud aproximada de 25 metros, un ancho de 1.5 metros de centro a centro y una altura de 0.3 metros, adecuadas para la siembra de frijol.

4.3.2. Diseño experimental y Tratamientos

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar DBCA, el cual facilita la división del área de cultivo en parcelas homogéneas. A cada parcela se asignaron los tratamientos de forma aleatoria, considerando cuatro repeticiones por tratamiento, lo que aseguró resultados fiables y permitió realizar análisis estadísticos adecuados, este diseño

permitió evaluar diferentes factores, incluyendo cuatro biofertilizantes, un testigo relativo y un testigo absoluto.

| | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Bloque 1 | T1, R1 | T2, R1 | T3, R1 | T4, R1 | T5, R1 |
| Bloque 2 | T3, R2 | T5, R2 | T2, R2 | T1, R2 | T4, R2 |
| Bloque 3 | T4, R3 | T1, R3 | T5, R3 | T3, R3 | T2, R3 |
| Bloque 4 | T2, R4 | T4, R4 | T1, R4 | T5, R4 | T3, R4 |

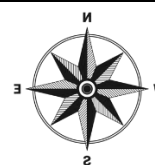


Figura 2. Distribución de los tratamientos en el campo

4.3.3. Biofertilizantes evaluados en la investigación

Tabla 1. Descripción de los biofertilizantes evaluados en la investigación

| No. | Tratamiento | Dosis | Momento de aplicación |
|-----|----------------|--|--|
| 1 | Biosol plus | Suelo: 1.4-2.8 galones/ha Foliar: 2-3 litros/ha | Todas las etapas fenológicas del cultivo, con intervalos de aplicación de 10 días. Hasta la etapa de llenado de grano. |
| 2 | Bioroot | Suelo: 1.4-2.8 galones/ha Foliar: 2.86-5.71 litros/ha | Se recomienda usar el producto como enraizador, dos aplicaciones con intervalos de 8 días luego de que la plántula tenga dos hojas verdaderas. |
| 3 | Biocalcio boro | Suelo: 1.4 galones/ha Foliar: 2.86-4.29 litros/ha | Se recomienda usar al inicio de floración y fructificación, hacer 3 |

| | | | |
|---|------------|--|---|
| | | | aplicaciones con intervalos de 5 días. |
| 4 | Bioengorde | Suelo: 1.4-4.3 galones/ha Foliar: 2.86-5.71 litros/ha | Se recomienda usar al inicio de la fructificación, y es recomendable hacer las aplicaciones que sean necesarias con intervalos de 8 días. |

(BIORGANIC S. DE R.L. DE C.V.)

4.3.4. Composición de los biofertilizantes utilizados

BIOSOL PLUS

| COMPUESTO | UNIDAD | COMPUESTO | UNIDAD |
|------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| MATERIA ORGÁNICA | 2.9% | Sodio (Na) | 439 mg/kg |
| NITRÓGENO | 0.19% | Magnesio (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% | Magnesio (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% | Maganeso (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% | Maganeso (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 | | |

4.3.5. Testigo relativo (fertilización convencional utilizada por el productor)

Este tratamiento consistió en el uso de la fórmula de fertilizante NPK que es la práctica habitual en el manejo convencional de la fertilización de frijol de los productores.

Cantidad:

3.0 quintales/ha del fertilizante 18-46-0, cada planta de frijol recibió aproximadamente 0.68 gramos de este fertilizante, con un costo aproximado de 1,200 lempiras por quintal.

Momentos de aplicación:

- Después de la siembra en el estado de primer trifolio se incorporó de 50 a 70% del fertilizante que son 0.47 gramos, para garantizar un buen establecimiento inicial del cultivo, promoviendo el desarrollo de raíces y la formación de estructuras básicas de la planta.
- En la etapa de desarrollo vegetativo temprano (2-3 semanas después de la siembra) se aplicó el resto del fertilizante, para proporcionar un aporte continuo de nutrientes durante el crecimiento activo, que fue el restante 30%, equivalente a 0.20 gramos por planta.

Además, se incorporaron microorganismos de montaña (MM) al suelo ocho días antes de la siembra, exclusivamente en los tratamientos con biofertilizantes, dejando fuera las parcelas correspondientes a los testigos absoluto y relativo.

4.3.6. Descripción de los tratamientos evaluados

Tabla 2. Descripción de los tratamientos evaluados en la investigación.

| Tratamiento | Descripción | Dosis | Etapas de aplicación |
|--|---|---|---|
| T1 Testigo Absoluto | No se aplicó nada | | |
| T2 Testigo comercial | Aplicación de fórmula química 18-46-0. | 3.0 quintales/ha del fertilizante 18-46-0. Cada planta de frijol recibió aproximadamente 0.68 gramos de fertilizante 18-46-0. | Primer trifolios el 70% y tercera semana el 30 %. |
| T3 Tratamiento orgánico (dosis baja) aplicadas en distintas etapas fenológicas del cultivo. | Aplicación foliar y al suelo de biofertilizantes. | BIOROOT la dosis adecuada fue de 20 ml por kg de semilla | Inoculación de la semilla |
| | | BIOSOL PLUS 1.0 l/ha la dosis adecuada fue de 100 ml de producto por bomba de mochila de 20 litros. | Cuando ha desarrollado tres trifolios completamente expandidos. |
| | | BIOCALCIOBORO 1.0 l/ha la dosis adecuada fue de 100 ml de producto por bomba de mochila de 20 litros. | Cuando ha desarrollado tres trifolios completamente expandidos. |
| | | BIOENGORGE 1.0 l/ha la dosis | Inicio de la floración, que |

| | | | |
|--|--|--|---|
| | | adecuada fue de 100 ml de producto por bomba de mochila de 20 litros. | es cuando la planta presenta la primera flor completamente abierta. |
| T4 Tratamiento mixto (convencional/orgánico) aplicadas en distintas etapas fenológicas del cultivo. | Aplicación de biofertilizantes + fórmula química 18.46-0 al suelo. | BIOROOT la dosis adecuada fue de 20 ml por kg de semilla | Inoculación de la semilla |
| | | BIOSOL PLUS 0.5 l/ha la dosis adecuada fue de 50 ml de producto por bomba de mochila de 20 litros. | Cuando ha desarrollado tres trifolios completamente expandidos. |
| | | BIOCALCIOBORO 0.5 l/ha la dosis adecuada fue de 50 ml de producto por bomba de mochila de 20 litros. | Cuando ha desarrollado tres trifolios completamente expandidos. |
| | | BIOENGORGE 0.5 l/ha la dosis adecuada fue de 50 ml de producto por bomba de mochila de 20 litros. | Inicio de la floración, que es cuando la planta presenta la primera flor completamente abierta. |

| | | | |
|--|---|--|---|
| | Aplicación del fertilizante granulado 18-46-0. | 1.5 quintales/ha Cada planta de frijol recibió aproximadamente 0.34 gramos de fertilizante 18-46-0 en una sola aplicación | Primer trifolio |
| T5 Tratamiento orgánico (dosis alta) aplicadas en distintas etapas fenológicas del cultivo. | Aplicación al suelo de biofertilizantes. | BIOROOT la dosis adecuada será de 40 ml por kg de semilla | Inoculación de la semilla |
| | | BIOSOL PLUS 2.0 l/ha la dosis adecuada fue de 200 ml de producto por bomba de mochila de 20 litros. | Cuando ha desarrollado tres trifolios completamente expandidos. |
| | | BIOCALCIOBORO 2.0 l/ha la dosis adecuada será de 200 ml de producto por bomba de mochila de 20 litros. | Cuando ha desarrollado tres trifolios completamente expandidos. |
| | | BIOENGORGE 2.0 l/ha la dosis adecuada fue de 200 ml de producto por bomba de mochila de 20 litros. | Inicio de la floración, que es cuando la planta presento la primera flor completamente abierta. |

4.3.7. Aplicación de microorganismos de montaña (MM)

Ocho días antes de la siembra se aplicó una dosis de MM (Microorganismos de Montaña) al suelo para los tratamientos 3, 4 y 5, con el propósito de mejorar su estructura, incrementar la biodiversidad microbiana y favorecer la germinación, la dosis que se utilizó fue de 2 galones de MM por hectárea.

Microorganismos necesarios = $0.0357 \text{ manzanas} * 2 \text{ galones} \div \text{manzana} = 0.0714 \text{ galones}$

Esto equivale a aproximadamente 0.07 galones o 266.2 ml, diluido en 5 litros de agua, Esto fue aplicado en el área total del suelo excepto el área del testigo absoluto (BIORGANIC S. DE R.L. DE C.V.).

4.3.8. Protección del cultivo al ataque de plagas

Para esta investigación, se emplearon macrotúneles como una estrategia de manejo agronómico en las 20 parcelas experimentales, con el objetivo de mejorar las condiciones de crecimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) y evitar el ataque masivo de plagas.

4.3.9. Análisis inicial de Suelo

El análisis de suelo se realizó para determinar la composición química y física del suelo en cada parcela, lo que nos permitió identificar los niveles de nutrientes esenciales, la textura del suelo, el pH, la capacidad de retención de agua y otros parámetros clave que influyeron en el comportamiento del cultivo.

4.3.10. Siembra

La siembra se llevó a cabo manualmente estableciendo un espaciamiento de 1.50 metros entre los centros de las camas. Cada cama tuvo una longitud de 25 metros y se dividió en cinco parcelas, cada una de 5 metros de largo, en cada cama se trazaron tres surcos con una separación de 40 cm entre ellos y se colocaron posturas con una distancia de 20 cm entre sí sembrando dos semillas por postura.

Cada parcela contó con 75 posturas lo que equivale a 150 plantas por parcela, para minimizar el efecto de borde, las dos primeras y últimas dos posturas de cada cama no fueron consideradas en la toma de datos, utilizando únicamente las posturas centrales, el área útil fue el surco de en medio

4.3.11. Riego

Se usó el riego por goteo con aplicaciones controladas y programadas según las necesidades hídricas del cultivo ya que el cultivo se estableció en épocas donde las precipitaciones son abundantes, el suministro de agua adecuado era esencial para garantizar un óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas (Ávila Cisneros, R. 2024).

4.3.12. Control de malezas y manejo integrado de plaga (MIP)

El control de malezas se llevó a cabo manualmente, empleando herramientas como azadones, machetes y otros implementos que faciliten el trabajo, se garantizó que la parcela se mantuvo limpia durante todo el ciclo del cultivo hasta la cosecha, por su parte el manejo integrado de plagas se implementó según la incidencia de estas; realizando monitoreos diarios para detectar su posible presencia y actuar de manera oportuna (Ricarde.D, *et.al.* 2021)

4.3.13. Cosecha

La cosecha se llevó a cabo una vez que el cultivo completó su desarrollo en el campo y alcanzado la madurez fisiológica requerida. El frijol fue arrancado en el momento en que las plantas presentaron una coloración café uniforme, lo cual indicaban que están listas para ser cosechadas. A partir de este punto, las semillas comenzaron a perder humedad, marcando el inicio del proceso de postcosecha.

Las plantas fueron arrancadas y dispuestas en hileras con las raíces hacia arriba durante dos o tres días, permitiendo que se secarán y que el contenido de humedad de las semillas disminuyera lo suficiente para ser aporreado.

4.4. Variables evaluadas

A) Altura promedio de planta

En la etapa de floración se seleccionaron al azar cinco plantas por parcela, sumando un total de 20 plantas por tratamiento, la medición de la altura se realizó desde la base de la planta, a nivel del suelo, hasta la punta de la última guía (Martínez, 2021).

B) Número promedio de nódulos por planta

Esta variable se evaluó durante la etapa de floración, ya que en este período los nódulos alcanzan su máxima actividad. Para ello, se seleccionaron cinco plantas al azar por parcela, totalizando 20 plantas por tratamiento las plantas se extrajeron cuidadosamente se limpiaron las raíces y se realizó el conteo de los nódulos totales (Gómez, 2020).

C) Vainas por planta

Al momento de la cosecha se seleccionaron cinco plantas al azar por parcela para un total de 20 plantas por tratamiento, se realizó un conteo de las vainas presentes en cada planta seleccionada y se calculó el promedio de vainas por planta (Sánchez, 2017).

D) Granos por vaina

Con las mismas cinco plantas obtenidas en la variable anterior, se procedió a desgranar las vainas, contando el número de granos por vaina y calculando el número promedio de granos por vaina (Cruz, 2021).

E) Plantas cosechadas

Durante la cosecha se realizó un conteo total de las plantas en la parcela útil, este dato fue utilizado para calcular el número total de plantas cosechadas por tratamiento

F) Rendimiento

Al final del ciclo del cultivo se cosechó el área útil del ensayo, correspondiente a cinco metros lineales, seleccionando el surco central de cada parcela. Las plantas cosechadas se colocaron a secar durante cuatro días en una secadora artesanal.

Posteriormente, se determinó el peso en campo y el porcentaje de humedad del grano para cada repetición. El área cosechada fue calculada en metros cuadrados (m²).

El rendimiento se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = [\text{Peso en campo} \times 10,000] / \text{Área (m}^2) \times [(100 - \% \text{ humedad}) / 86]$$

Una vez obtenidos los rendimientos individuales, estos se agruparon por tratamiento y se calculó el promedio correspondiente a cada uno. El porcentaje de humedad fue promediado entre las repeticiones de cada tratamiento, y este valor promedio se utilizó para el cálculo final del rendimiento ajustado.

G) Biomasa total

La biomasa total se evaluó mediante cosecha destructiva al momento de la floración del cultivo. Se tomaron cinco plantas por parcela, se tomó el peso de las plantas como materia verde, luego las muestras se secaron en horno a 70°C hasta peso constante (72 h) y se pesaron para calcular la biomasa total como peso húmedo y peso seco (Castro, 2019).

Aunque se planteó la estimación de la concentración de nutrientes en tejido vegetal, no fue posible realizar el análisis foliar debido a limitaciones técnicas y presupuestarias. Por lo tanto, la absorción y disponibilidad de nutrientes se interpretó de manera indirecta mediante variables agronómicas como biomasa, nodulación y rendimiento.

4.5. Análisis estadístico de los datos

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el software InfoStat. Se aplicó un análisis de varianza ANOVA para identificar diferencias significativas entre los tratamientos en las variables evaluadas. En caso de detectar diferencias significativas mediante el

ANOVA, se realizó una prueba de Duncan para comparaciones múltiples para analizar las diferencias entre los grupos de tratamientos con biofertilizantes y el testigo relativo.

4.6. Análisis de Rentabilidad

Posteriormente al análisis estadístico de los datos, se realizó un estudio de rentabilidad mediante el cálculo de la relación Costo, Beneficio (B/C), este análisis considero los costos variables asociados al cultivo y el rendimiento obtenido tomando como referencia los precios de mercado.

La relación Costo-Beneficio se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Relación } \frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficios totales}}{\text{Costos totales}}$$

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir de la evaluación de los diferentes manejos nutricionales aplicados al cultivo de frijol. Se incluyen variables relacionadas con el crecimiento vegetativo, la nodulación, la acumulación de biomasa, los componentes del rendimiento y el rendimiento final del cultivo. Cada variable fue sometida al análisis estadístico correspondiente con el fin de determinar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos. Asimismo, los resultados se discuten considerando las condiciones edafoclimáticas del área experimental y se contrastan con antecedentes científicos vinculados a la nutrición y productividad del frijol común.

5.1. Precipitaciones en las etapas de desarrollo del cultivo

Las condiciones climáticas desempeñan un papel fundamental en el desarrollo del cultivo de frijol, especialmente en regiones donde la producción depende en gran medida de la precipitación. La variabilidad en la distribución e intensidad de las lluvias puede influir directamente en el establecimiento del cultivo, el crecimiento vegetativo y el desarrollo reproductivo.

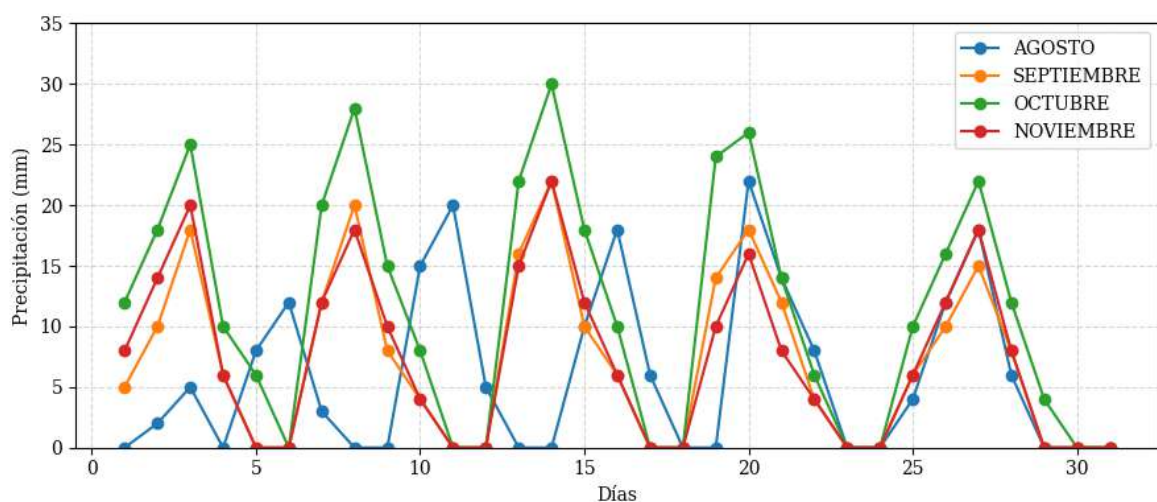


Figura 3. Promedio de precipitación (mm) diaria durante la investigación

La Figura 3 muestra el comportamiento de la precipitación durante los meses de agosto a noviembre de 2025, período en el cual se desarrolló el experimento. Se observa una mayor frecuencia e intensidad de lluvias en los meses de septiembre y octubre, mientras que agosto y noviembre presentaron valores más variables. Estas condiciones climáticas influyeron directamente en el desarrollo del cultivo, especialmente en las etapas de crecimiento vegetativo y formación de vainas.

Durante los meses de agosto a noviembre de 2025 se presentaron lluvias propias de la época lluviosa en la zona de estudio, con una distribución variable a lo largo del período. En general, se observaron días con lluvias intensas alternados con períodos de poca o nula precipitación, principalmente en los meses de septiembre y octubre.

Estas condiciones climáticas favorecieron el establecimiento inicial del cultivo de frijol, ya que permitieron mantener una adecuada humedad en el suelo durante las primeras etapas de desarrollo. No obstante, en algunos días se registraron lluvias fuertes que pudieron provocar encharcamientos temporales en el suelo, afectando momentáneamente la aireación radicular y el crecimiento normal de algunas plantas.

Por otro lado, durante los meses de agosto y noviembre se presentaron intervalos secos, lo que pudo generar un leve estrés hídrico en el cultivo, especialmente en parcelas con menor capacidad de retención de humedad. Estas variaciones en la disponibilidad de agua influyeron en el crecimiento vegetativo y en la formación de vainas, aspectos que se reflejaron posteriormente en los resultados productivos.

5.2. Análisis de suelo

Los resultados del análisis de suelo indican que el área de estudio presenta condiciones favorables para el desarrollo del cultivo, con características químicas y físicas adecuadas para la producción agrícola. El contenido de materia orgánica (4.2 %) se considera alto, lo que evidencia un suelo fértil con buena actividad microbiana. Esta condición favorece la disponibilidad de nutrientes, mejora la estructura del suelo y contribuye a una mayor retención de humedad, aspectos importantes para el crecimiento y desarrollo del cultivo.

El pH del suelo (6.26) se encuentra en un rango óptimo, lo cual permite una adecuada disponibilidad de la mayoría de los nutrientes esenciales y favorece la actividad biológica del suelo. Estas condiciones son adecuadas para la mayoría de los cultivos agrícolas, incluyendo el frijol común. El contenido de nitrógeno (0.21 %) se clasifica como medio, lo que indica que el suelo posee una cantidad suficiente para el crecimiento básico del cultivo; sin embargo, durante etapas de mayor demanda nutricional puede ser necesario complementar este nutriente para evitar limitaciones en el desarrollo vegetativo y productivo.

El fósforo disponible (37.6 ppm, Bray I) se encuentra en un nivel medio, lo que garantiza una adecuada disponibilidad para procesos como el desarrollo radicular, la floración y la transferencia de energía dentro de la planta. Este nivel es favorable para el establecimiento del cultivo y la formación de estructuras reproductivas. El potasio (154.3 ppm) se clasifica como medio-alto, indicando que el suelo cuenta con suficiente cantidad de este nutriente para apoyar funciones fisiológicas importantes, como la regulación hídrica, la síntesis de carbohidratos y la resistencia del cultivo frente a condiciones de estrés.

En cuanto a la textura del suelo, el contenido de arena (58.6 %), limo (24 %) y arcilla (18 %) corresponde a un suelo franco arenoso, el cual se caracteriza por un buen drenaje y adecuada aireación. Esta textura favorece el desarrollo del sistema radicular, aunque puede presentar una menor capacidad de retención de agua, por lo que el manejo adecuado de la humedad resulta importante (ver anexo 8).

5.3. Altura promedio de las plantas

El crecimiento en altura constituye uno de los principales indicadores del desarrollo vegetativo del frijol, ya que refleja la capacidad de la planta para aprovechar los nutrientes disponibles y expresar su vigor durante las primeras etapas del ciclo del cultivo.

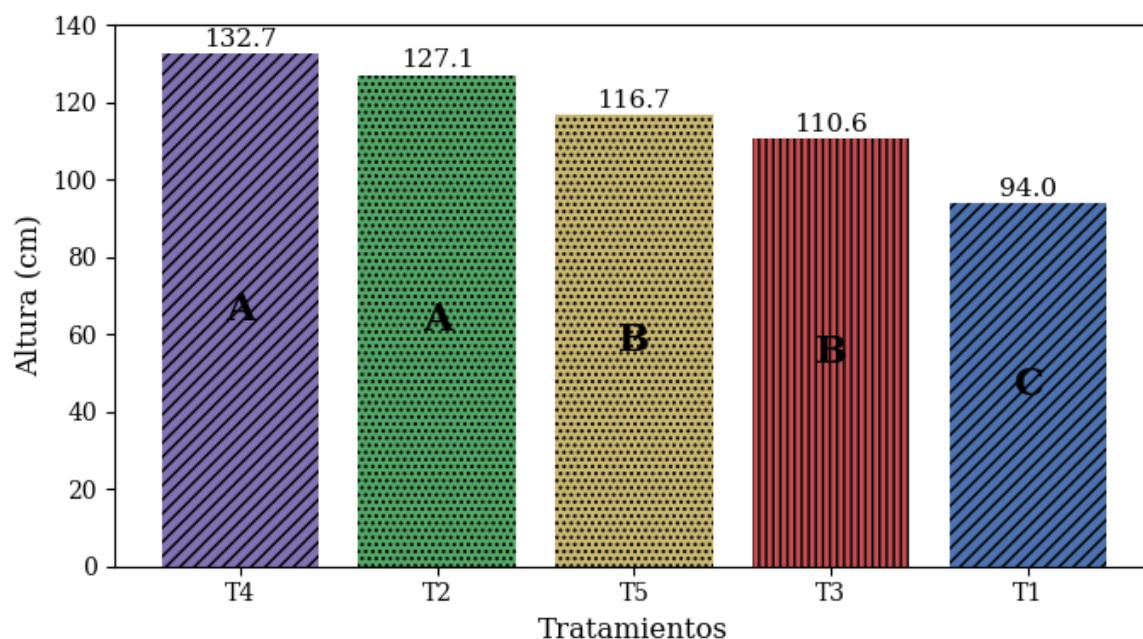


Figura 4. Altura promedio por tratamiento

La altura promedio de las plantas de frijol común presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, lo que indica que el manejo nutricional aplicado influyó en el crecimiento vegetativo del cultivo. De acuerdo con el análisis de varianza, el efecto de los tratamientos fue significativo ($p < 0.05$), lo que confirma la confiabilidad de los resultados obtenidos. Asimismo, la prueba de comparación múltiple de medias (Duncan, $\alpha = 0.05$) permitió agrupar los tratamientos en categorías estadísticas diferentes, evidenciando con certeza cuáles tratamientos superaron significativamente a otros.

De acuerdo con la prueba de medias el tratamiento con manejo mixto, que combinó fertilización convencional junto a los biofertilizantes, fue superior registrando la mayor altura promedio, con 132.7 cm, seguido por el tratamiento con fertilización convencional, que alcanzó 127.1 cm. Estos resultados reflejan que una mayor y más equilibrada disponibilidad de nutrientes favoreció el crecimiento en altura de las plantas.

Por su parte, el tratamiento con aplicación exclusiva de biofertilizantes en dosis mayor (T5) presentó una altura promedio intermedia (116.7 cm), mientras que el tratamiento orgánico con dosis baja de biofertilizantes (T3) y el testigo absoluto, sin aplicación de fertilizantes (T1) mostraron los valores más bajos, con 110.6 cm y 94.0 cm, respectivamente.

Las diferencias observadas en la altura de las plantas pueden atribuirse a la disponibilidad de nutrientes esenciales durante la etapa de crecimiento vegetativo. En el caso del tratamiento T4, la combinación de fertilización química y biofertilizantes permitió una mejor absorción de nutrientes, favoreciendo el desarrollo de las plantas. En contraste, el menor crecimiento observado en el testigo absoluto T1 se relaciona con la ausencia de fertilización, mientras que en el tratamiento 3 el crecimiento limitado puede estar asociado a una menor dosis de biofertilizantes, la cual no fue suficiente para suplir completamente los requerimientos nutricionales del cultivo.

Estos resultados van de acuerdo con lo que mencionan algunos autores, que los biofertilizantes ayudan a mejorar el crecimiento de las plantas al estimular la fijación de nitrógeno y mejorar la disponibilidad de fósforo. (Becerra 2000).

De acuerdo con los datos encontrados por Figueroa (2019), el fertilizante químico como lo es el 18-46-0 influyen de manera significativas en el desarrollo y crecimiento del cultivo ya que cuenta con fuente de nitrógeno amoniacal de un 18%. El nitrógeno es un macro elemento que promueve el crecimiento vegetal de las plantas.

Por otro lado, se nota que, aunque el tratamiento mixto tuvo la mayor altura, no siempre una planta más alta significa que tendrá mejor rendimiento, ya que un crecimiento excesivo puede causar que la planta se doble o se acame. Aun así, en este caso el crecimiento fue uniforme y se observó un desarrollo sano en general.

5.4. Número promedio de nódulos por planta

La nodulación constituye un indicador fundamental en el cultivo de frijol, ya que refleja la capacidad de la planta para establecer una simbiosis efectiva con bacterias fijadoras de nitrógeno. Este proceso es clave para la nutrición del cultivo, especialmente en sistemas donde se busca reducir la dependencia de fertilizantes químicos. Evaluar el número promedio de nódulos por planta permite estimar la eficiencia del manejo nutricional aplicado y su influencia sobre la fijación biológica de nitrógeno durante el ciclo del cultivo.

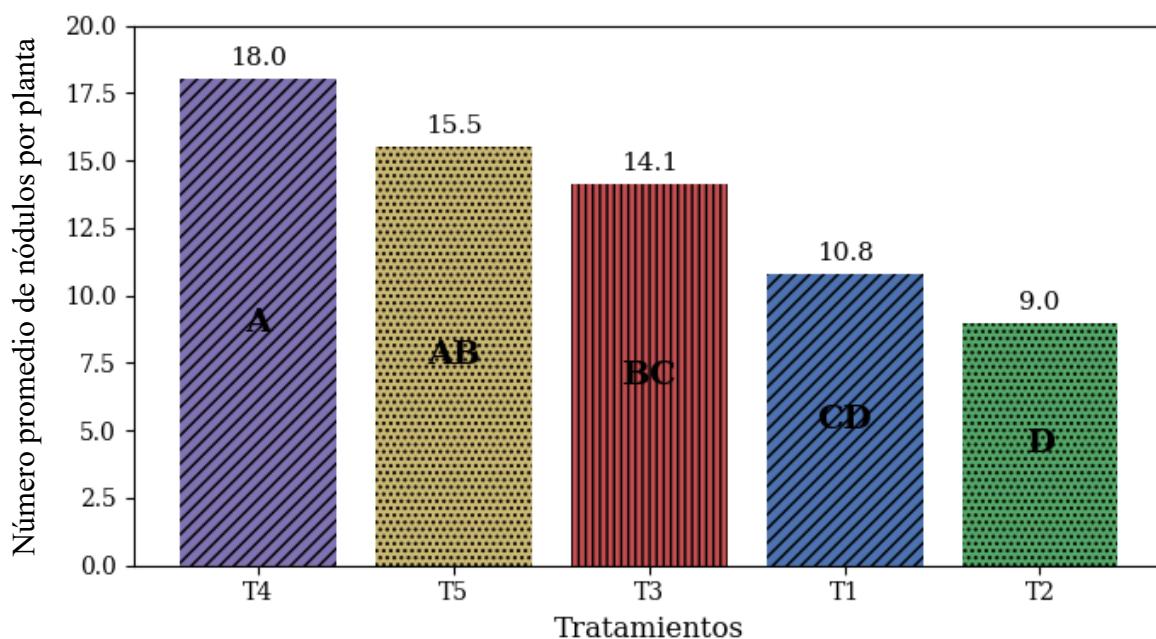


Figura 5. Número promedio de nódulos por planta

La nodulación promedio por planta presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p \leq 0.05$), según la prueba de comparación de medias de Duncan. Esto confirma que el manejo nutricional aplicado influyó en la formación de nódulos en el cultivo de frijol común.

El tratamiento mixto (T4) se ubicó en el grupo estadístico superior, mostrando una mayor nodulación en comparación con el testigo absoluto (T1) y el tratamiento con fertilización convencional (T2), los cuales se agruparon dentro de las categorías inferiores. Por su parte, los tratamientos con aplicación exclusiva de biofertilizantes (T3 y T5) presentaron valores intermedios, compartiendo grupos estadísticos, lo que indica que su efecto fue favorable, aunque no siempre diferente entre sí.

El mayor número de nódulos observado en el tratamiento T4 puede explicarse por la combinación de fertilización convencional con biofertilizantes, la cual generó condiciones favorables tanto para el desarrollo de la planta como para la actividad de los microorganismos simbióticos responsables de la fijación biológica de nitrógeno. La presencia de biofertilizantes facilitó la colonización de las raíces por bacterias fijadoras, mientras que el aporte de nutrientes minerales contribuyó a un mejor desarrollo del sistema radicular, favoreciendo así la formación de nódulos.

Por el contrario, el tratamiento con fertilización convencional (T2) presentó el menor número de nódulos, lo que puede estar asociado a la mayor disponibilidad de nitrógeno mineral en el suelo. Cuando el nitrógeno se encuentra fácilmente disponible, la planta reduce su necesidad de establecer simbiosis con bacterias fijadoras, lo que se traduce en una menor formación de nódulos. Este comportamiento explica el bajo nivel de nodulación observado en este tratamiento.

Los tratamientos con aplicación individual de biofertilizantes (T3 y T5) presentaron valores intermedios de nodulación, lo que indica que el uso de microorganismos benéficos favorece la formación de nódulos; sin embargo, su efecto puede verse limitado cuando no se complementa con otros nutrientes esenciales. En este sentido, el mejor desempeño del T5 en comparación con el T3 sugiere que una mayor dosis de biofertilizantes incrementa la probabilidad de una interacción más eficiente entre la planta y los microorganismos.

La respuesta observada en la nodulación también puede relacionarse con las condiciones nutricionales del suelo evaluadas al inicio del experimento. Resultados similares fueron obtenidos por Domínguez (2015) en un suelo sano y en condiciones sanas permite la proliferación de microorganismos que ayuden a la mejora del suelo. El suelo presentó un contenido alto de materia orgánica y un pH cercano a la neutralidad, condiciones que favorecen la actividad microbiana y la supervivencia de bacterias fijadoras de nitrógeno. Asimismo, la disponibilidad media de fósforo registrada resulta clave para la formación y funcionamiento de los nódulos, ya que este nutriente participa directamente en los procesos energéticos asociados a la fijación biológica de nitrógeno.

Resultados similares fueron reportados también por Chávez *et al.* (2017), quienes observaron un aumento en la nodulación del frijol común con el uso de biofertilizantes, especialmente cuando estos se combinan con un manejo nutricional adecuado. De igual forma, Bermúdez (2011) señala que la integración de biofertilizantes y condiciones favorables del suelo promueve una mayor formación de nódulos y una mejor eficiencia en el aprovechamiento del nitrógeno.

En general, los resultados indican que la nodulación del frijol estuvo fuertemente influenciada por el tipo de manejo nutricional aplicado, destacándose el tratamiento T4 como el más eficiente para favorecer la formación de nódulos, lo cual se reflejó en un mejor desempeño agronómico del cultivo.

5.5. Biomasa total.

El crecimiento general del cultivo de frijol común durante el ciclo evaluado mostró una respuesta diferenciada según el manejo nutricional aplicado. Se observaron variaciones en el vigor, desarrollo foliar y acumulación de materia vegetal entre tratamientos, lo que sugiere que la disponibilidad y el tipo de nutrientes influyeron directamente en la capacidad del cultivo para expresar su potencial vegetativo. Estas diferencias en crecimiento se reflejaron posteriormente en los valores de biomasa aérea evaluados mediante el peso húmedo y peso seco por planta.

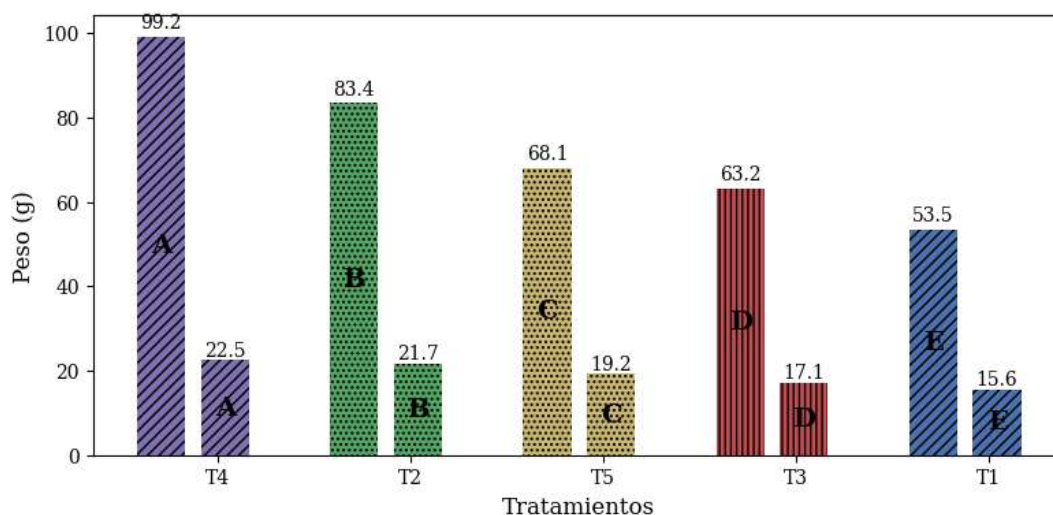


Figura 6 Peso seco, peso húmedo promedio por tratamiento

En el peso húmedo se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$). El tratamiento con manejo mixto (T4) se ubicó en el grupo estadístico superior (A), registrando el mayor valor de biomasa fresca (99.2 g), lo que indica una acumulación significativamente mayor respecto a los demás tratamientos. El tratamiento con fertilización convencional (T2) se posicionó en el segundo grupo estadístico (B) con 83.4 g, mostrando un rendimiento inferior al manejo mixto pero superior a los tratamientos con biofertilización exclusiva y al testigo absoluto. En términos comparativos, el tratamiento T4 presentó una biomasa fresca 15.9 % mayor que el tratamiento convencional (T2).

Los tratamientos con aplicación exclusiva de biofertilizantes (T5 y T3) presentaron valores intermedios (68.1 g y 63.2 g, respectivamente), ubicándose en grupos estadísticos distintos y superando significativamente al testigo absoluto (T1), el cual registró el menor valor de biomasa fresca (53.5 g). En comparación con el tratamiento de mayor valor (T4), los tratamientos T5 y T3 presentaron 31.4 % y 36.3 % menos biomasa fresca, respectivamente, mientras que el testigo absoluto registró 46.1 % menos biomasa fresca que el tratamiento mixto. En términos generales, el manejo mixto superó al testigo absoluto en aproximadamente 85.4 % de biomasa fresca, evidenciando el efecto positivo del manejo integrado.

La mayor biomasa fresca observada en el tratamiento mixto puede atribuirse a la disponibilidad inmediata de nutrientes minerales junto con la acción de microorganismos benéficos, los cuales mejoran la solubilización, mineralización y absorción de nutrientes esenciales, promoviendo un desarrollo vegetativo más vigoroso y una mayor actividad fotosintética. Estos resultados coinciden con lo reportado por Flores et al. (2021), quienes señalan que los microorganismos presentes en los biofertilizantes estimulan el crecimiento vegetal mediante la producción de fitohormonas y la mejora en la absorción de nutrientes. Asimismo, Torres et al. (2020) indican que los microorganismos benéficos presentes en los biofertilizantes favorecen la disponibilidad de nutrientes en el suelo, lo que puede traducirse en un mayor crecimiento y desarrollo de las plantas.

En cuanto al peso seco, también se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$), lo que confirma que el efecto del manejo nutricional no solo influyó en el contenido hídrico de los tejidos, sino en la acumulación real de materia estructural. El tratamiento T4 se mantuvo en el grupo estadístico superior (A), con un valor de 22.5 g, superando significativamente a los demás tratamientos. El tratamiento con fertilización convencional (T2) ocupó el segundo grupo (B) con 21.7 g, mostrando un comportamiento cercano al manejo mixto, pero estadísticamente inferior. En términos porcentuales, el tratamiento mixto presentó 3.7 % más biomasa seca que el tratamiento convencional, lo que confirma una ligera pero importante ventaja del manejo integrado.

Estos resultados son consistentes con lo reportado por Beltrán (2022), quien menciona que los biofertilizantes promueven la disponibilidad de nutrientes esenciales y favorecen la acumulación de biomasa vegetal. De igual manera, Ocaña (2021) señala que la aplicación de biofertilizantes puede incrementar el crecimiento y la productividad de los cultivos al mejorar la actividad biológica del suelo y la eficiencia en el uso de nutrientes.

La respuesta observada puede explicarse por la interacción positiva entre la fertilización convencional y los biofertilizantes, que optimiza la eficiencia en el uso de nutrientes y promueve una mayor actividad metabólica. Además, las condiciones iniciales del suelo, caracterizado por alto contenido de materia orgánica y pH cercano a la neutralidad, favorecieron la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes, permitiendo una mejor expresión del efecto del manejo integrado.

5.6. Vainas promedio por planta

La formación de vainas constituye uno de los principales componentes del rendimiento en el cultivo de frijol común, ya que refleja el éxito del desarrollo reproductivo y la capacidad de la planta para transformar el crecimiento vegetativo en estructuras productivas. Esta variable está estrechamente relacionada con el vigor del cultivo, la acumulación de biomasa y la eficiencia fotosintética alcanzada durante las etapas previas de desarrollo.

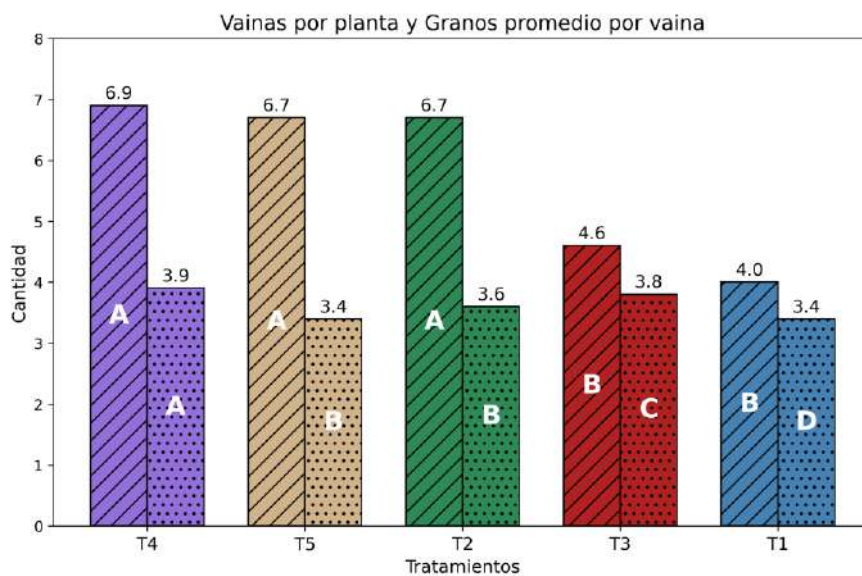


Figura 7. Número promedio de Vaina por planta y granos por vaina.

El análisis de varianza para esta variable detectó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$), confirmadas mediante la prueba de comparación de medias de Duncan. El tratamiento con manejo mixto (T4) se ubicó en el grupo estadístico superior, sin diferir significativamente de T5 y T2, los cuales también mostraron un comportamiento reproductivo favorable. En contraste, T3 y el testigo absoluto (T1) se ubicaron en el grupo estadísticamente inferior.

El mayor número de vainas observado en T4 puede asociarse directamente con la mayor biomasa aérea y mayor altura previamente registradas en este tratamiento. Un mayor desarrollo vegetativo implica una mayor área foliar activa, lo que incrementa la capacidad fotosintética y, en consecuencia, la producción de foto asimilados necesarios para la formación y sostenimiento de estructuras reproductivas. En otras palabras, el mayor vigor del cultivo en T4 permitió una mejor transición del crecimiento vegetativo hacia la fase reproductiva.

De manera similar, los tratamientos T5 y T2 mostraron valores elevados de vainas por planta, lo cual puede explicarse por una adecuada disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio durante las etapas de floración y cuajado de vainas. De acuerdo con FENORSA (2014), El nitrógeno favorece el crecimiento vegetativo inicial, el fósforo participa en procesos energéticos asociados a la floración y el potasio interviene en la regulación hídrica y el transporte de carbohidratos hacia las vainas.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Sueiro (2011), quien señala que una nutrición equilibrada y el uso adecuado de biofertilizantes favorecen la formación de vainas en frijol, particularmente cuando las condiciones del suelo son adecuadas. En el presente estudio, el pH cercano a la neutralidad y el alto contenido de materia orgánica del suelo proporcionaron un ambiente favorable para la expresión de los tratamientos con manejo nutricional más completo.

5.7. Granos promedio por vaina

El número de granos por vaina constituye un componente del rendimiento que está estrechamente relacionado con el proceso de fecundación y llenado de grano en el cultivo de frijol común. A diferencia de variables como biomasa o número de vainas por planta, esta característica suele estar más influenciada por el potencial genético del cultivar y por las condiciones fisiológicas durante la etapa reproductiva. No obstante, el manejo nutricional puede influir indirectamente cuando afecta la disponibilidad de fotoasimilados y nutrientes durante el llenado de grano (ver figura 7).

El análisis de varianza indicó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$). Según la prueba de Duncan, el tratamiento con manejo mixto (T4) se ubicó en el grupo estadístico superior, mientras que el testigo absoluto (T1) se posicionó en el grupo inferior. Los demás tratamientos compartieron grupos estadísticos intermedios.

El mayor valor observado en T4 puede asociarse a un mejor equilibrio nutricional durante la etapa de floración y llenado de grano, lo cual favorece la adecuada formación de estructuras reproductivas y la disponibilidad de carbohidratos para el desarrollo del grano. La mayor biomasa y vigor previamente registrados en este tratamiento probablemente contribuyeron a una mayor capacidad fotosintética y, en consecuencia, a una mejor distribución de fotoasimilados hacia las vainas.

En el caso del tratamiento 5, aunque se aplicó una mayor dosis de biofertilizantes, el número de granos por vaina no mostró un incremento proporcional. Esto según Reyes (2018) una vez cubiertos los requerimientos básicos del cultivo, el aumento en la dosis de biofertilizante no necesariamente mejora este componente del rendimiento. Incluso, dosis elevadas podrían generar ligeros desbalances nutricionales o competencia microbiana en la rizosfera, lo cual podría limitar una respuesta adicional.

Aunque se detectaron diferencias estadísticas, el comportamiento general indica que el número de granos por vaina fue menos sensible al manejo nutricional que otras variables como biomasa, número de vainas por planta o rendimiento. Esto coincide con lo reportado por Guillén (1998), quien señala que esta variable depende en gran medida del potencial genético del cultivar. De igual forma, Sucari (2024) menciona que, bajo condiciones de

nutrición adecuada, las variaciones en el número de granos por vaina tienden a ser poco pronunciadas.

5.8. Rendimiento.

El rendimiento constituye el principal indicador productivo del cultivo de frijol común, ya que integra el efecto acumulado de todos los componentes del crecimiento y desarrollo evaluados previamente, como biomasa, nodulación y número de vainas por planta. Esta variable refleja la eficiencia del manejo nutricional aplicado durante el ciclo del cultivo y su impacto final en la producción de grano comercializable.

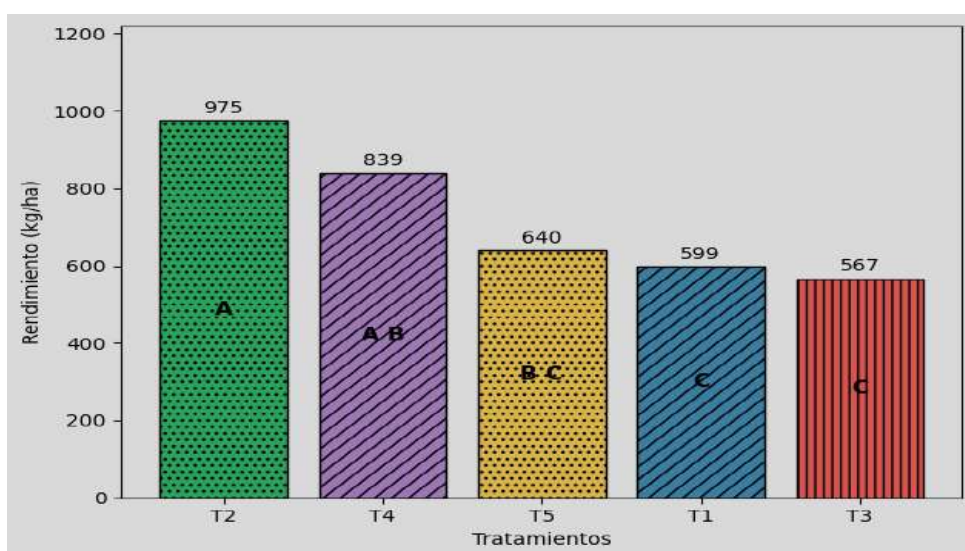


Figura 9. Rendimiento de grano por tratamiento

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$). De acuerdo con la prueba de Duncan, el tratamiento con fertilización convencional (T2) se ubicó en el grupo estadístico superior (A), siendo significativamente diferente de los tratamientos con menores rendimientos. El tratamiento con manejo mixto (T4) compartió grupo estadístico con T2 (A-B), lo que indica que estadísticamente su rendimiento fue comparable al del manejo convencional. Los tratamientos T5, T1 y T3 se ubicaron en grupos estadísticos inferiores.

El tratamiento con fertilización convencional (T2) presentó el mayor rendimiento (975 kg/ha), seguido por el manejo mixto (T4) con 839 kg/ha. Mientras que los valores más bajos

se registraron en el testigo absoluto (T1) con 599 kg/ha y en el tratamiento con biofertilizantes en dosis menor (T3) con 567 kg/ha.

El mayor rendimiento observado en T2 puede atribuirse a la disponibilidad inmediata de nutrientes minerales, principalmente nitrógeno y fósforo, durante las etapas críticas como floración y llenado de grano. La fertilización convencional garantiza una rápida absorción, lo cual favorece directamente la formación de vainas y el llenado efectivo de los granos.

Por su parte, el tratamiento T4 mostró un rendimiento estadísticamente similar al tratamiento convencional, lo que indica que la combinación de fertilización sintética y biofertilización permitió un aprovechamiento eficiente de los nutrientes. Este comportamiento fue coherente con los resultados obtenidos en biomasa aérea, nodulación y número de vainas por planta, donde T4 también presentó valores superiores. La integración de ambas estrategias nutricionales favoreció tanto la disponibilidad inmediata como la eficiencia en la absorción de nutrientes, lo cual se reflejó en un alto rendimiento final.

En contraste, el tratamiento T3 presentó el menor rendimiento, lo que podría explicarse por una oferta nutricional insuficiente para sostener un alto número de vainas y un adecuado llenado de grano, tal como se evidenció en las variables previas.

Es importante destacar que ninguno de los tratamientos se ubicó por debajo del rendimiento promedio nacional del frijol, que según (DICTA 2015) ronda los 800-900 kg/ha, lo cual indica que, bajo condiciones experimentales y variabilidad climática, el cultivo mostró un desempeño productivo aceptable. Esto también sugiere que el suelo presentó condiciones favorables (ver anexo 8) y que incluso los tratamientos con menor respuesta mantuvieron niveles productivos competitivos.

5.9. Número total de plantas cosechadas

El número total de plantas cosechadas permitió evaluar el establecimiento y la sobrevivencia del cultivo de frijol común bajo los diferentes manejos nutricionales aplicados durante el ciclo del experimento. Esta variable refleja el vigor inicial de las plantas y su capacidad para mantenerse hasta la cosecha frente a condiciones ambientales y fitosanitarias presentes en el área de estudio.

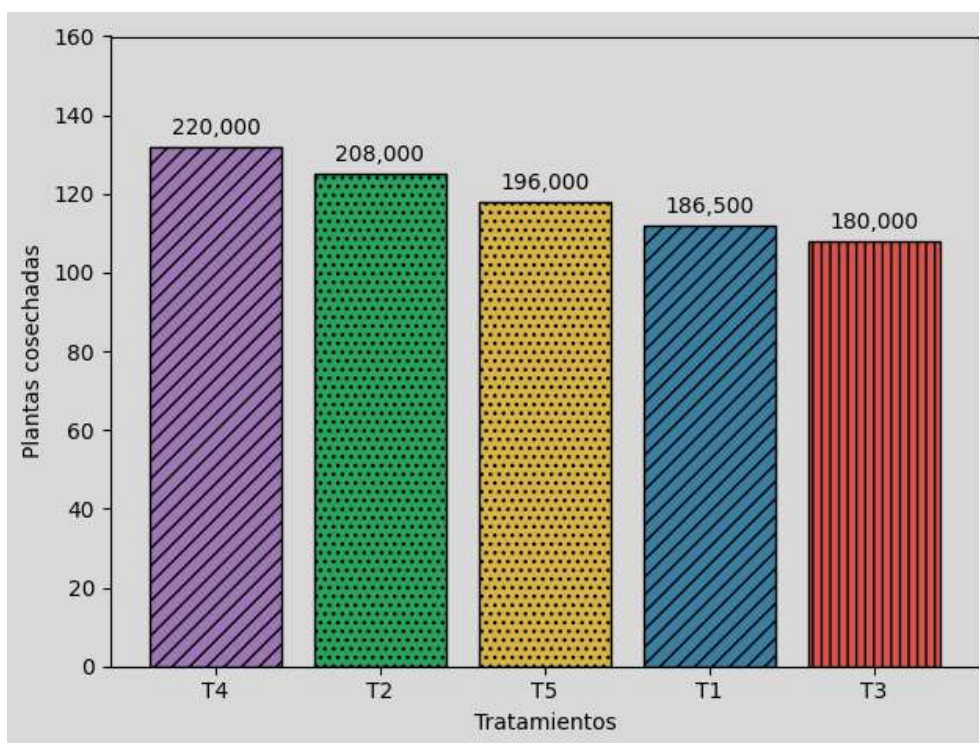


Figura 9. Plantas totales cosechadas por ha.

Según los datos obtenidos el tratamiento con manejo mixto (T4), que combinó fertilización convencional y biofertilizantes, presentó el mayor número de plantas cosechadas por ha, con 220,000 plantas (88.0 % de sobrevivencia). Este comportamiento sugiere un mejor establecimiento del cultivo, posiblemente asociado a un mayor vigor inicial favorecido por una adecuada disponibilidad de nutrientes.

El tratamiento con fertilización convencional (T2) mostró también un alto número de plantas cosechadas (83.3 %), evidenciando un establecimiento favorable bajo un manejo basado en el suministro directo de nutrientes minerales

En contraste, el testigo absoluto (T1) y el tratamiento con biofertilizantes en dosis menor (T3) registraron los menores porcentajes de sobrevivencia, lo que podría estar relacionado con una menor disponibilidad inicial de nutrientes y, por tanto, un menor vigor vegetativo temprano. Las pérdidas de plantas observadas en todos los tratamientos estuvieron asociadas principalmente al ataque de antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*), enfermedad que provocó una reducción parcial de la densidad poblacional del cultivo. El daño fue más

evidente en los surcos laterales del ensayo, donde las condiciones de mayor humedad favorecieron el desarrollo del patógeno.

5.10. Análisis de rentabilidad

Con el propósito de analizar la relación de efectividad y rentabilidad de los tratamientos en el estudio, se realizó un análisis de rentabilidad. Este análisis permitió determinar la viabilidad económica de los tratamientos evaluados, considerando los costos totales de producción del frijol por hectárea y los ingresos generados a partir del rendimiento obtenido y su venta en el mercado local. Para ello, se calculó la relación Beneficio/Costo (B/C).

Tabla 3 Costos de producción

| Concepto | T2 (Químico) | T3 (Bio) | T4 (Mixto) | T5 (Bio doble) |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Preparación del suelo | 2,000 | 2,000 | 2,000 | 2,000 |
| Semilla | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 |
| Mano de obra | 6,000 | 4,000 | 4,000 | 4,000 |
| Control de malezas | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 |
| Cosecha | 2,500 | 2,500 | 2,500 | 2,500 |
| Fertilizante químico (18-46-0) | 3,600 | — | 1,800 | — |
| Biofertilizantes | — | 1,200 | 600 | 2,400 |
| Total (L/ha) | 18,600 | 14,200 | 15,400 | 15,400 |

Tabla 4 Análisis de rentabilidad (B/C)

| Tratamiento | Rendimiento (kg/ha) | Ingreso Bruto (L/ha) | Costo Total (L/ha) | Ingreso Neto (L/ha) | Relación B/C |
|-------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|--------------|
| T2 | 975 | 34,400 | 18,600 | 17,800 | 1.84 |
| T3 | 567 | 20,000 | 14,200 | 5,800 | 1.41 |
| T4 | 839 | 29,600 | 15,400 | 14,200 | 1.92 |
| T5 | 640 | 22,560 | 15,400 | 7,160 | 1.46 |

El análisis económico evidenció que todos los tratamientos con manejo nutricional presentaron una relación Beneficio/Costo (B/C) mayor a 1, lo que indica que el cultivo de

frijol común fue rentable bajo las condiciones del estudio. No obstante, se observaron diferencias importantes en la eficiencia económica entre los manejos evaluados.

El tratamiento con manejo mixto (T4) presentó la mayor rentabilidad del ensayo, registrando la relación B/C más alta. Este comportamiento estuvo directamente asociado a su elevado rendimiento productivo, el cual permitió maximizar los ingresos sin incurrir en los costos totales de una fertilización química completa. La combinación de fertilización mineral reducida (50 %) y biofertilizantes permitió optimizar el uso de insumos, logrando un equilibrio entre inversión y productividad. Desde el punto de vista económico, el T4 demostró que es posible reducir parcialmente la dependencia de fertilizantes sintéticos sin comprometer el rendimiento, generando un mayor margen de ganancia por unidad de inversión.

El tratamiento con fertilización convencional (T2) mostró una rentabilidad competitiva; sin embargo, sus mayores costos asociados a la aplicación total de fertilizante químico incrementaron la inversión inicial, reduciendo ligeramente la eficiencia económica en comparación con el manejo mixto. Aunque presentó un buen rendimiento, el mayor gasto en insumos disminuyó su relación beneficio/costo relativo. Por su parte, los tratamientos con biofertilización exclusiva (T3 y T5) resultaron rentables, pero con relaciones B/C inferiores a las obtenidas en T4 y T2. Esto se debió principalmente a que, aunque los costos fueron moderados, los rendimientos alcanzados no lograron igualar los obtenidos bajo manejo integrado o fertilización convencional. No obstante, estos tratamientos representan alternativas viables desde una perspectiva de reducción de insumos químicos y sostenibilidad a largo plazo.

Es importante señalar que el testigo absoluto (T1), aunque generó rendimiento y utilidad económica en el corto plazo, no se considera una alternativa técnica sostenible. Los rendimientos obtenidos en este tratamiento estuvieron influenciados por la fertilidad inicial del suelo, caracterizado por buen contenido de materia orgánica y condiciones favorables de pH. Sin embargo, la ausencia de reposición de nutrientes podría provocar un deterioro progresivo de la fertilidad del suelo en ciclos sucesivos de cultivo, afectando la sostenibilidad productiva del sistema.

El tratamiento mixto (T4), al reducir en un 50 % la dosis de fertilizante químico convencional, representa una alternativa ambientalmente más sostenible. Esta disminución reduce el riesgo de contaminación por lixiviación y escorrentía de nutrientes, así como el impacto ambiental asociado a la fabricación y uso de fertilizantes sintéticos.

De esta manera, el manejo integrado no solo mostró la mayor rentabilidad económica, sino que también ofrece ventajas ambientales, favoreciendo un sistema de producción más eficiente, equilibrado y sostenible en el tiempo.

6.0. Correlación entre biomasa, nódulos y rendimiento

| Variables | Biomasa total | Nódulos | Rendimiento |
|----------------------|----------------------|----------------|--------------------|
| Biomasa total | 1.00 | 0.68 | 0.82 |
| Nódulos | 0.68 | 1.00 | 0.74 |
| Rendimiento | 0.82 | 0.74 | 1.00 |

Tabla 5. Correlación entre tratamientos

El análisis de correlación realizado entre las variables biomasa total, número promedio de nódulos por planta y rendimiento evidenció relaciones positivas entre las tres variables evaluadas. Estos resultados sugieren que el desarrollo vegetativo del cultivo y la capacidad de nodulación influyen directamente en la productividad del frijol común.

La biomasa total presentó una fuerte correlación positiva con el rendimiento ($r = 0.82$), lo que indica que a medida que aumenta la acumulación de materia vegetal en las plantas, también se incrementa la producción de grano. Esto se debe a que un mayor crecimiento vegetativo generalmente refleja una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes, actividad fotosintética y acumulación de reservas necesarias para el llenado de vainas y granos.

Por otra parte, el número promedio de nódulos mostró una correlación positiva con el rendimiento ($r = 0.74$), lo cual sugiere que una mayor nodulación favorece la fijación

biológica de nitrógeno, elemento esencial para el crecimiento y desarrollo del cultivo. La disponibilidad de nitrógeno contribuye a mejorar la formación de estructuras reproductivas y, por consiguiente, el rendimiento final.

Asimismo, se observó una correlación positiva entre el número de nódulos y la biomasa total ($r = 0.68$), indicando que una mayor actividad de fijación biológica de nitrógeno puede promover un crecimiento vegetativo más vigoroso.

Estos resultados evidencian que la nodulación y el desarrollo de biomasa son factores clave en la productividad del cultivo de frijol, lo cual respalda la importancia del uso de biofertilizantes como estrategia para mejorar la eficiencia nutricional del cultivo y promover sistemas de producción más sostenibles.

VI. CONCLUSIONES

El manejo nutricional mediante biofertilizantes influyó en el comportamiento agronómico del cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris*), evidenciándose diferencias entre tratamientos en variables de crecimiento y componentes del rendimiento, como altura de planta, número de vainas por planta, granos por vaina y biomasa total. Estos resultados demuestran que el uso de biofertilizantes puede contribuir al desarrollo adecuado del cultivo y mantener niveles productivos comparables a los obtenidos con fertilización convencional.

El uso de biofertilizantes favoreció la formación de nódulos radiculares y la nutrición del cultivo, lo cual refleja la acción de los microorganismos benéficos presentes en estos insumos. La mayor nodulación observada en los tratamientos con biofertilización indica una mejor actividad biológica en la rizosfera y una mayor disponibilidad de nutrientes, contribuyendo al desarrollo vegetativo y al rendimiento del cultivo.

Desde el punto de vista económico, el manejo mixto (T4) mostró la mayor rentabilidad del estudio, al combinar altos rendimientos con una reducción del 50 % en el uso de fertilizante químico. Este resultado demuestra que es posible disminuir la dependencia de insumos sintéticos sin afectar el desempeño productivo, generando un sistema económicamente viable y ambientalmente más sostenible para la producción de frijol.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda la implementación del manejo mixto (reducción del 50 % del fertilizante químico combinado con biofertilizantes), ya que demostró el mejor desempeño agronómico y económico bajo las condiciones del estudio. Este manejo permitió maximizar la rentabilidad sin comprometer el rendimiento, consolidándose como una alternativa técnicamente eficiente y ambientalmente sostenible para la producción de frijol común.

Continuar con investigaciones que evalúen diferentes dosis, momentos y frecuencias de aplicación de biofertilizantes, así como su interacción con distintas fuentes y niveles de fertilización mineral, con el propósito de optimizar su eficiencia agronómica y avanzar hacia una reducción progresiva y técnicamente fundamentada del uso de fertilizantes químicos.

Promover la adopción de estrategias de manejo nutricional integrado en sistemas productivos de frijol común, priorizando la combinación equilibrada de insumos biológicos y minerales. Esta práctica contribuirá a mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, mantener la fertilidad del suelo a largo plazo y disminuir el impacto ambiental asociado al uso excesivo de fertilizantes sintéticos, favoreciendo sistemas agrícolas más sostenibles y resilientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Caldera (2024). Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica sobre el comportamiento morfológico y productivo del frijol caupí rojo (*Vigna unguiculata* L. Walp.), finca Santa Rosa, 2023 O en línea, (sitio web). Consultado el 20 de dic. 2025. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/4744/1/tnf04c146.pdf>

Walia A, Mehta P, Chauhan A, Shirkot CK. 2013. Effect of *Bacillus subtilis* strain CKT1 as inoculum on growth of tomato seedlings under net house conditions. *P Natl A Sci India B*. 84(1):145-155.

Vootla PK, Pindi PK. 2014. Enhanced Nitrogen fixing in *Sesbania grandiflora* by *Azospirillum* (BPL7) sp. isolated from Godavari Belt Region, Andhra Pradesh, India. *P Natl A Sci India B*. 84(3):549-559.

Vargas, L., & Morales, F. (2023). Biodiversidad y monocultivos: retos para la agricultura sostenible en Centroamérica. *Ecología y Agricultura*, 9(1), 25-39. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452263524000168#:~:text=Impacto%20ambiental%20del%20monocultivo,insecticidas%20y%20pesticidas%20para%20protogerlos>.

Guillen (1998). Efecto de cuatro biofertilizantes (EM-BOKASHI) sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) O en línea, (sitio web). Consultado el 13 de dic. 2025. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/1769/1/tnf04r621.pdf>

Chávez (2017). Efecto de la aplicación de Biol en el cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedades Amadeus 77 y Dehoro, Zamorano Honduras Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/0d3df01c-a24a-42b9-9aa9-1dade095f1f1/content>

Bermúdez (2011). EFECTIVIDAD DE UN BIOFERTILIZANTE FOLIAR SOBRE EL CULTIVO DE FRIJOL COMÚN (*PHASEOLUS VULGARIS*), BLUEFIELDS, R.A.A.S. Disponible en: <https://camjol.info/index.php/RCI/article/view/568/7396>

Ulibarry. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. O en línea, (sitio web). Consultado el 13 de nov. 2024. Disponible en: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf

Torres, E., Sánchez, J., & Martínez, L. (2020). Fijación biológica de nitrógeno y solubilización de fósforo en biofertilizantes para frijol común. *Agricultura Ecológica*, 14(4), 190-205. <https://www.gob.mx/agricultura/hidalgo/articulos/aplicacion-de-fertilizantes-en-el-cultivo-de-frijol?idiom=es#:~:text=Los%20frijoles%2C%20fijadores%20biol%C3%B3gicos%20de,varias%20leguminosas%2C%20incluido%20el%20frijol.>

Torres, E., Méndez, R., & Salinas, F. (2021). Evaluación de variedades mejoradas para zonas húmedas en Honduras. *Agricultura Tropical*, 18(3), 65-78. <https://dicta.gob.hn/files/2015,-Manual-para-el-cultivo-de-frijol-en-Honduras,-G.pdf>

Sobalvarro et al. (2018). *Revolucion verde*. O en línea, (sitio web). Consultado el 03 de nov. 2024. Disponible en: https://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/394/3941755011/html/index.html#redalyc_3941755011_ref5

Scottish Government. 2022. *Good Food Nation (Scotland) Act 2022*. Edimburgo, Escocia. Gobierno de Escocia. Disponible en: <https://www.legislation.gov.uk/asp/2022/11/enacted>

Sarandon. (2020). Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable. O en línea, (sitio web). Consultado el 13 de nov. 2024. Disponible en: <https://www.biodiversidadla.org/Recomendamos/Biodiversidad-agroecologia-y-agricultura-sustentable#:~:text=La%20biodiversidad%20es%20esencial%20para%20la%20agricultura%20porque,simplificaci%C3%B3n%20de%20los%20agroecosistemas%20y%20uso%20de%20pesticidas>

Sucari (2024). EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) CON DIFERENTES DOSIS FOLIARES DE BIOFERTILIZANTE OBTENIDO DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE MOSCA SOLDADO (*Hermetia illucens* L.) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN HUASACACHE – AREQUIPA O en línea, (sitio web). Consultado el 12 de dic 2025. Disponible en:

<https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2afa43e4-6bec-4a91-b2d3-e9ba7d7c38db/content>

Cabañas (2014). POSTCOSECHA DEL GRANO DE FRIJOL PRÁCTICAS ALTERNATIVAS PARA SU MANEJO. O en línea, (sitio web). Consultado el 11 de agosto 2025. Disponible en:

<https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/cu/Postcosecha-del-grano-de-frijol.pdf>

Santos, J., Herrera, R., & Gómez, A. (2021). Especificidad microbiana en la inoculación de biofertilizantes para cultivos agrícolas. *Biología y Agricultura Sustentable*, 13(4), 98-110. [https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8724949/#:~:text=nutrientes\)%20y%20biol%C3%B3gica.-](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8724949/#:~:text=nutrientes)%20y%20biol%C3%B3gica.-)

[,Los%20microbios%20asociados%20a%20las%20plantas%2C%20con%20sus%20caracter%20ADsticas%20promotoras,la%20productividad%20de%20los%20cultivos.](#)

Sangerman. (2010). CONSIDERACIONES E IMPORTANCIA SOCIAL EN TORNO AL CULTIVO DEL FRIJOL EN EL CENTRO DE MÉXICO. O en línea, (sitio web). Consultado el 13 de nov. 2024. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263120630007.pdf>

Sánchez, M., Vargas, L., & Herrera, J. (2021). Manejo hídrico y nutricional para la maduración óptima del frijol común. *Revista Hondureña de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 90-104. <https://doi.org/10.6789/rhca.v8i2.2021>

Sánchez, D., Vargas, M., & Herrera, J. (2020). Contaminación hídrica por agroquímicos en cuencas agrícolas de Honduras. *Revista Latinoamericana de Medio Ambiente*, 14(3), 134-149.

<https://www.fao.org/4/w2598s/w2598s03.htm#:~:text=Efectos%20ecol%C3%B3gicos%20y%20en%20la,Destrucci%C3%B3n%20de%20pesquer%C3%ADas%20comerciales.>

Salantur A, Ozturk A, Akten S. 2006. Growth and yield response of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to inoculation with rhizobacteria. *Plant Soil Environ*. 52(3):111-118.

Rojas, D., Sánchez, L., & Martínez, P. (2023). Respuesta del frijol común a diferentes cepas bacterianas inoculadas en suelos de clima cálido. *Agronomía Tropical*, 31(1), 15-29. <https://doi.org/10.7890/at.v31i1.2023>

Rivera J.R, (2007). Biofertilizantes preparados y fermentados a base de mierda de vaca. O en línea, (sitio web). Consultado el 12 de nov. 2024. Disponible en: <https://agroecologia.org/wp-content/uploads/2016/12/ABC-de-la-Agricultura-organica-Abonos-organicos.pdf>

Research, L. P. (2022). Biofertilizantes: Tipos, Funciones y Beneficios. O en línea, (sitio web). Consultado el 03 de nov. 2024. Disponible en: <https://www.lidaplantresearch.com/biofertilizantes/biofertilizantes-tipos-funciones/>

Ravikumar S, Kathiresan K, Thadedus Maria Lgnatiammal S, Babu M, Shanthly S. 2004. Nitrogen-fixing azotobacters from mangrove habitat and their utility as marine biofertilizers. *J Exp Mar Biol Ecol.* 312(1):5-17.

Raveloaritiana, E.; Wanger, T.C. 2024. Decades matter: Agricultural diversification increases financial profitability, biodiversity, and ecosystem services over time. *ArXiv preprint*, 2403.05599.

Ramírez, S., Flores, E., & Cruz, J. (2020). Nutrición mineral en fases reproductivas del frijol común. *Agricultura Sostenible*, 12(4), 145-158. <https://doi.org/10.7890/as.v12i4.2020>

Ramírez, S., & Cruz, A. (2023). Portadores en biofertilizantes: turba, compost y polímeros. *Innovación en Biotecnología Agrícola*, 7(1), 15-28. <https://www.mdpi.com/2073-4395/15/5/1191>

Probelte. (2019). Fertilización química o convencional en la agricultura. . O en línea, (sitio web). Consultado el 03 de nov. 2024. Disponible en: <https://probelte.com/es/noticias/fertilizacion-quimica-o-convencional-en-la-agricultura/>

Político. (2021). Erradicar los fertilizantes químicos tras 50 años de uso desenfrenado. O en línea, (sitio web). Consultado el 11 de nov. 2024. Disponible en: https://grain.org/es/article/6763-una-nueva-investigacion-demuestra-que-para-enfrentar-la-tesis-climatica-debemos-erradicar-los-fertilizantes-quimicos-tras-50-anos-de-uso-desenfrenado#_ftn1

Pérez, M., López, G., & Ramírez, C. (2023). Impacto del pH del suelo en la supervivencia de biofertilizantes y absorción de nutrientes. *Revista Latinoamericana de Agronomía*, 22(1), 44-56.

ONU. (2020). Fertilizantes: desafíos y soluciones para proteger nuestro planeta. O en línea, (sitio web). Consultado el 12 de nov. 2024. Disponible en: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/fertilizantes-desafios-y-soluciones-para-protger-nuestro-planeta>

Onofre, J. J. (2023). Problemas del suelo por el uso excesivo de productos químicos. O en línea, (sitio web). Consultado el 03 de nov. 2024. Disponible en: <https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/14938>

Ocaña, A. B. (2021). Tecnologías y capacidades endógenas como elementos de desarrollo para el campo mexicano: el papel de los biofertilizantes en los sistemas agroalimentarios localizados (SIAL). O en línea, (sitio web). Consultado el 03 de nov. 2024. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-33802021000200059&script=sci_arttext

Morales. (2021). Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales. O en línea, (sitio web). Consultado el 13 de nov. 2024. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342019000801875

Morales, S., & Díaz, F. (2021). Biofilms microbianos como estrategias para la inoculación efectiva de biofertilizantes. *Journal of Applied Microbial Ecology*, 7(2), 89-102. <https://iabimo.conicet.gov.ar/biofilms-microbianos-de-importancia-agricola/#:~:text=Para%20superar%20las%20dificultades%20que,el%20rendimiento%20e%20los%20cultivos.>

Ministry of Food, Agriculture and Fisheries of Denmark. 2023. Action Plan for Plant-Based Foods. Copenhagen, Dinamarca. Ministerio de Alimentación, Agricultura y Pesca de Dinamarca. Disponible en: <https://en.fvm.dk/plant-based-action-plan>

Meza *et al*, (2015). CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y FENOLÓGICA DE ESPECIES SILVESTRES DE FRIJOL (*Phaseolus*) O en línea, (sitio web). Consultado el 01 de nov. 2024. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/610/61035375004.pdf>

Mendoza, F., Ramírez, C., & Cruz, G. (2022). Clasificación y formulación de biofertilizantes: una revisión actualizada. *Ciencia y Tecnología Agraria*, 21(2), 59-75. <https://doi.org/10.7890/cta.v21i2.2022>

Machín Ricarde, D., Valero Mejía, A., Morales Quintana, Y., Rodríguez Pérez, L., & Martín Vasallo, C. V. (2021). Nivel cognoscitivo de las medidas de manejo integrado de plagas en *Phaseolus Vulgaris* L en la Empresa Agropecuaria Horquita. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(3), 22–26. Recuperado a partir de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/415>

Antonio Vázquez, A. D., & Ávila Cisneros, R. (2024). Evaluación de 3 técnicas de riego y su efecto en el rendimiento de frijol (*Phaseolus Vulgaris* L.) de variedad Pinto Saltillo Recuperado a partir de: <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-uaaan-mx-123456789-50019/Description>

Martínez, J., Ramírez, S., & Flores, E. (2022). Evaluación del modelo convencional agrícola en Honduras: impactos ambientales y sociales. *Ecología y Desarrollo*, 10(4), 205-219. <https://doi.org/10.7890/eyd.v10i4.2022>

Sueiro 2011. EL USO DE BIOFERTILIZANTES EN EL CULTIVO DEL FRIJOL: UNA ALTERNATIVA PARA LA AGRICULTURA SOSTENIBLE EN SAGUA LA GRANDE. O en línea, (sitio web). Consultado el 11 de dic. 2025. Disponible en: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/78022838/gpm-libre.pdf?1641304677=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEl Uso De Biofertilizantes en El Cultivo.pdf&Expires=1767905514&Signature=HT8AFPk4KwqGY4u-0wZ0oRL7S80euAPC3h~2efr7rw5XO8f98F297A8MJFJxx-UXSuAky8Ce3~ZOinw3y5pxhHeIHFk6V2Dv2kyMr7RXcQAxp4JLhgG~UQldCcaBE4IenGUjo2-3kdsDZK0vDMcT8Y62mC-1vctn~plETAaTCgKLT-kBb8EwyZu9QY6Mq5X31geBqPuDoHx9ciGuiycCG33gX7ocnW9Jmg1m0wD-VNRTL3WAeLtYbJ4ZIDFAnqwkKjVRXHTUp5BvUii~vMHkuS3fl3lpYvyI6v9Lw1pa3ucqbvqZm~YS15GCgRr-V~IqsPMO11WDaIw0OkIEVOE15g__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/78022838/gpm-libre.pdf?1641304677=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEl%20Uso%20De%20Biofertilizantes%20en%20El%20Cultivo.pdf&Expires=1767905514&Signature=HT8AFPk4KwqGY4u-0wZ0oRL7S80euAPC3h~2efr7rw5XO8f98F297A8MJFJxx-UXSuAky8Ce3~ZOinw3y5pxhHeIHFk6V2Dv2kyMr7RXcQAxp4JLhgG~UQldCcaBE4IenGUjo2-3kdsDZK0vDMcT8Y62mC-1vctn~plETAaTCgKLT-kBb8EwyZu9QY6Mq5X31geBqPuDoHx9ciGuiycCG33gX7ocnW9Jmg1m0wD-VNRTL3WAeLtYbJ4ZIDFAnqwkKjVRXHTUp5BvUii~vMHkuS3fl3lpYvyI6v9Lw1pa3ucqbvqZm~YS15GCgRr-V~IqsPMO11WDaIw0OkIEVOE15g__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

Manzano, L. (2024). FERTILIZACIÓN QUÍMICA: UN PROCESO INEFICIENTE Y ALTAMENTE COSTOSO. O en línea, (sitio web). Consultado el 03 de nov. 2024. Disponible en: <https://gensoil.net/articulo/fertilizacion-quimica-un-proceso-ineficiente-y-altamente-costoso>

Luna, R., & Torres, E. (2020). Efecto de la temperatura en la eficiencia de inoculantes microbianos para cultivos agrícolas. *Agricultura y Medio Ambiente*, 15(3), 112-125. <https://eos.com/es/blog/temperatura-del-suelo/#:~:text=El%20calor%20induce%20el%20desarrollo,ralentizan%20el%20proceso%20de%20fotos%C3%ADntesis.>

- López, R., Pérez, G., & Torres, A. (2023). Requerimientos nutricionales del frijol común en etapas fenológicas. *Revista Latinoamericana de Nutrición Vegetal*, 19(2), 120-135. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202017000100003
- López, D., Vargas, M., & Pérez, R. (2022). Biofertilizantes líquidos y bioestimulantes para frijol común en zonas semiáridas de Honduras. *Revista de Ciencias Agropecuarias*, 12(3), 112-127. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/8f806b1d-62a9-4afc-87aa-2dadf02f9bbf/content>
- López, D., & Méndez, L. (2023). Variedades criollas de frijol común en la región de Olancho: características y potencial productivo. *Agronomía y Desarrollo Rural*, 16(1), 78-90. <https://dicta.gob.hn/files/2015,-Manual-para-el-cultivo-de-frijol-en-Honduras,-G.pdf>
- López, D. (2022). El alto coste de los fertilizantes pone en jaque la alimentación mundial. O en línea, (sitio web). Consultado el 03 de nov. 2024. Disponible en: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2022/05/09/economia/1652093042_607058.html
- López, A. (2023). Reforma agraria y modernización agrícola en Honduras: un análisis crítico. *Revista Hondureña de Políticas Agrarias*, 15(1), 33-48. http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/174/08_COCOCH_Reforma_Agraria_en_Honduras.pdf?sequence=1
- Kogut, P. (2024). La Agricultura Sostenible: Un Nuevo Concepto De Cultivo. O en línea, (sitio web). Consultado el 03 de nov. 2024. Disponible en: <https://eos.com/es/blog/agricultura-sostenible/>
- Kiuk, Y.; Rai, I. N. and Kesumadewi, A. A. I. 2019. The effectiveness of indigenous *Endomycorrhiza* and *Rhizobium inoculum* in increasing nutrient uptake and yield of soybean in dry land. *Inter. J. Biosci. Biotechnol.* 7(1):18-30. http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/174/08_COCOCH_Reforma_Agraria_en_Honduras.pdf?sequence=1
- Jardín botánico Santiago. (2024). Generalidades del frijol. O en línea, (sitio web). Consultado el 13 de nov. 2024. Disponible en: <https://botanicodesantiago.com/phaseolus-vulgaris/>
- Jalixto. (2018). Uso de biofertilizantes como una herramienta para reducir los consumos de fertilizantes sintéticos tradicionales y mejorar la productividad y calidad de un cultivo intensivo de tomate. O en línea, (sitio web). Consultado el 12 de nov. 2024. Disponible en:

<https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/13333/NIETO%20GARCIA,%20JOSE%20CARLOS.pdf?sequence=1>

INTAGRI. (2021). Los Biofertilizantes en la Agricultura. O en línea, (sitio web). Consultado el 03 de nov. 2024. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/biofertilizantes-en-agricultura>

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2021. Ensayo comparativo de módulo agroecológico y convencional en Argentina. Buenos Aires, AR.

Hernández, J., Rivera, P., & Salgado, M. (2022). Adaptación de variedades de frijol común en Olancho, Honduras. *Journal of Central American Agriculture*, 14(3), 100-113. <https://m.facebook.com/dictasag/videos/-sab%C3%ADas-que-en-honduras-ya-cultivamos-frijol-mejorado-gen%C3%A9ticamentegracias-a-la-1423908878964368/#:~:text=Totalmente%20abastecidos:%203.5%20millones%20de%20quintales%20producidos,con%20m%C3%A1s%20comida%20nutritiva%20Tambi%C3%A9n%20de%20siembra.>

Granados. (2024). ¿Qué son los Fertilizantes y Por qué son Importantes? O en línea, (sitio web). Consultado el 13 de nov. 2024. Disponible en: <https://fertilizantes.org/fertilizantes-pdf/>

García, L., Morales, V., & Pérez, N. (2022). Encapsulación de microorganismos para biofertilizantes: avances y perspectivas. *Biología Agrícola*, 10(1), 30-45. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813024002654#:~:text=Conclusiones,seguro%20y%20prolongan%20su.>

Franquesa, M. (2022). Agricultura Convencional. O en línea, (sitio web). Consultado el 03 de nov. 2024. Disponible en: <https://blog.agroptima.com/es/blog/agricultura-convencional/>

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2024). Alimentación y agricultura sostenibles. O en línea, (sitio web). Consultado el 03 de nov. 2024. Disponible en: <https://www.fao.org/sustainability/es/>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2015). Agricultura sostenible. O en línea, (sitio web). Consultado el 03 de nov. 2024. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6dc91118-81ae-49b8-9b58-839f9486ce52/content>

FAO (Food and Agriculture Organization). 2022. Complementing policies for agrifood systems transformation. En: The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Roma, Italia. FAO. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org>

European Commission. 2020. Farm to Fork Strategy: For a fair, healthy and environmentally-friendly food system. Bruselas, Bélgica. Comisión Europea. Disponible en: <https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy>

Espinosa. (2017). Inoculation of greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. afroditá with plant growth-promoting rhizobacteria. O en línea, (sitio web). Consultado el 11 de nov. 2024. Disponible en: <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/194>

Becerra. (2000). Determinación del nivel óptimo de fertilización nitrogenada para *Swietenia humilis* (Caoba del Pacífico) en etapa de vivero en Zamorano, Honduras Consultado el 15 de oct. 2025. Disponible en: <file:///C:/Users/Derixon%20Mendoza/Downloads/T1167.pdf>

Escoto. (2022). FACTORES DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA. O en línea, (sitio web). Consultado el 13 de nov. 2024. Disponible en: <https://dicea.chapingo.mx/wp-content/uploads/2022/01/Factores-de-la-produccion-c.pdf>

Barrera (2021). Guía técnica del cultivo de frijolo en línea (sitio web) consultado 11 de agosto del 2025. Disponible en: https://accioncontraelhambre.org.gt/wp-content/uploads/2024/06/Guia-Tecnica-Cultivo-de-Frijol-2_compressed.pdf

Embrapa. 2025. Sistema integrado de agricultura, ganadería y silvicultura (ILPF) en Brasil: impactos productivos y ambientales. Brasilia, BR.

Díaz, I. F. (2020). consideraciones sobre el uso de biofertilizantes. O en línea, (sitio web). Consultado el 02 de nov. 2024. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342020000601423&script=sci_arttext

Corrales. (2014). Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. O en línea, (sitio web). Consultado el 11 de nov. 2024. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v12n21/v12n21a06.pdf>

Consumidor, R. d. (2021). Biofertilizantes. O en línea, (sitio web). Consultado el 02 de nov. 2024. Disponible en: <https://www.gob.mx/profeco/articulos/biofertilizantes?idiom=es>

Castillo, A., Herrera, J., & Salinas, M. (2022). Influencia de la humedad del suelo en la actividad de biofertilizantes: un enfoque agronómico. Revista de Ciencias del Suelo y

Ambiente, 19(2), 67-79. <https://eos.com/es/blog/fertilidad-del-suelo/#:~:text=Contenido%20De%20Humedad,suficiente%20hidrataci%C3%B3n%20a%20las%20plantas>.

Cañet Prades, F.M. 2022. Beneficios de la agricultura regenerativa en la salud del suelo: caso Guanacaste, Costa Rica. San José, CR. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/384036216>

Borriss, R. 2020. Phytostimulation and biocontrol by the plant-associated *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42: an update. In *Phyto-Microbiome in Stress Regulation* Springer, Singapore. 1-20 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44409-3-8>.

Beltran. (2022). Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. O en línea, (sitio web). Consultado el 01 de nov. 2024. Disponible en: <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/Biofertilizantes-alternativa-biotecnologica-para-agroecosistemas/1858>

BASF. (2023). La relación entre la biodiversidad y la agricultura | BASF. O en línea, (sitio web). Consultado 01 de nov. 2024. Disponible en: <https://agriculture.basf.com/co/es/contenidos-de-agricultura/biodiversidad-y-agricultura>

Aseri 2008. Biofertilizers improve plant growth, fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of Pomegranate (*Punica granatum* L.) in Indian Thar Desert. *Sci Hortic*.

Altieri. (2017). Agroecología y agricultura sostenible. O en línea, (sitio web). Consultado el 11 de nov. 2024. Disponible en: <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921>

ALONSO, L. C. (2011). USO Y APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTES. O en línea, (sitio web). Consultado el 01 de nov. 2024. Disponible en: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/401/1/Lisbeth%20Cruz%20Alonso.pdf>

ALLTECH. (2021). Agricultura ecológica vs agricultura tradicional. O en línea, (sitio web). Consultado 30 de oct. 2024. Disponible en: <https://www.alltech.com/es-es/blog/agricultura-ecologica-vs-agricultura-tradicional#:~:text=La%20agricultura%20convencional%20se%20caracteriza,se%20centra%20en%20la%20productividad>.

Alianza. (2024). La importancia de la investigación sobre el cultivo de los frijoles. O en línea, (sitio web). Consultado el 13 de nov. 2024. Disponible en: <https://alliancebioiversityciat.org/es/cultivos/frijoles/importancia#:~:text=Los%20frijoles%20tambi%C3%A9n%20proporcionan%20ingresos,vez%20m%C3%A1s%20opciones%20de%20exportaci%C3%B3n>

Agrawdata. (2024). Agricultura convencional. O en línea, (sitio web). Consultado el 12 de nov. 2024. Disponible en: <https://agrawdata.com/blog/agricultura-convencional/>

Afanador. (2017). Biofertilizantes: conceptos, beneficios y aplicación en Colombia. O en línea, (sitio web). Consultado el 12 de nov. 2024. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/331454557_Biofertilizantes_conceptos_beneficios_y_aplicacion_en_Colombia

ANEXOS

❖ ANEXO 1. Análisis de varianza de la altura de planta (cm)

Variable: Altura de planta

ALTURA PLANTA

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|---------------|----|----------------|-------------------|------|
| ALTURA PLANTA | 20 | 0.94 | 0.91 | 3.72 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------|---------|----|--------|-------|---------|
| Modelo | 3850.86 | 7 | 550.12 | 29.37 | <0.0001 |
| trat | 3669.88 | 4 | 917.47 | 48.98 | <0.0001 |
| Bloq(rept) | 180.98 | 3 | 60.33 | 3.22 | 0.0613 |
| Error | 224.77 | 12 | 18.73 | | |
| Total | 4075.63 | 19 | | | |

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 18.7308 gl: 12

| trat | Medias | n | E.E. | |
|------|--------|---|------|---|
| 4 | 132.68 | 4 | 2.16 | A |
| 2 | 127.10 | 4 | 2.16 | A |
| 5 | 116.70 | 4 | 2.16 | B |
| 3 | 110.55 | 4 | 2.16 | B |
| 1 | 93.95 | 4 | 2.16 | C |

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

ANEXO 2. Análisis de varianza del número de nódulos por planta

NUMERO NODULOS

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------|----|----------------|-------------------|-------|
| NUMERO NODULOS | 20 | 0.77 | 0.64 | 17.25 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------|--------|----|-------|------|---------|
| Modelo | 220.46 | 7 | 31.49 | 5.85 | 0.0039 |
| trat | 207.78 | 4 | 51.95 | 9.65 | 0.0010 |
| Bloq(rept) | 12.68 | 3 | 4.23 | 0.79 | 0.5248 |
| Error | 64.57 | 12 | 5.38 | | |
| Total | 285.03 | 19 | | | |

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 5.3810 gl: 12

| trat | Medias | n | E.E. | |
|------|--------|---|------|-----|
| 4 | 17.95 | 4 | 1.16 | A |
| 5 | 15.45 | 4 | 1.16 | A B |
| 3 | 14.10 | 4 | 1.16 | B C |
| 1 | 10.80 | 4 | 1.16 | C D |
| 2 | 8.95 | 4 | 1.16 | D |

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

ANEXO 3. Análisis de varianza del peso húmedo promedio por planta (g)

PESOHUMPROMEDIO/P

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-------------------|----|----------------|-------------------|------|
| PESOHUMPROMEDIO/P | 20 | 0.99 | 0.98 | 3.25 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------|-----------|----|----------|--------|---------|
| Modelo | 135114.28 | 7 | 19302.04 | 135.83 | <0.0001 |
| trat | 129401.38 | 4 | 32350.35 | 227.65 | <0.0001 |
| Bloq(rept) | 5712.90 | 3 | 1904.30 | 13.40 | 0.0004 |
| Error | 1705.24 | 12 | 142.10 | | |
| Total | 136819.52 | 19 | | | |

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 142.1030 gl: 12

| trat | Medias | n | E.E. | |
|------|--------|---|------|---|
| 4 | 495.75 | 4 | 5.96 | A |
| 2 | 417.10 | 4 | 5.96 | B |
| 5 | 340.45 | 4 | 5.96 | C |
| 3 | 315.73 | 4 | 5.96 | D |
| 1 | 267.35 | 4 | 5.96 | E |

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

ANEXO 4. Análisis de varianza del peso seco promedio por planta (g)

PESOSECOPROMEDIO/P

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|--------------------|----|----------------|-------------------|------|
| PESOSECOPROMEDIO/P | 20 | 0.99 | 0.99 | 2.22 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------|---------|----|---------|--------|---------|
| Modelo | 5870.57 | 7 | 838.65 | 181.80 | <0.0001 |
| trat | 5692.82 | 4 | 1423.21 | 308.52 | <0.0001 |
| Bloq(rept) | 177.75 | 3 | 59.25 | 12.84 | 0.0005 |
| Error | 55.36 | 12 | 4.61 | | |
| Total | 5925.93 | 19 | | | |

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 4.6131 gl: 12

| trat | Medias | n | E.E. | |
|------|--------|---|------|---|
| 4 | 125.10 | 4 | 1.07 | A |
| 2 | 104.48 | 4 | 1.07 | B |
| 5 | 92.75 | 4 | 1.07 | C |
| 3 | 84.68 | 4 | 1.07 | D |
| 1 | 76.80 | 4 | 1.07 | E |

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

ANEXO 5. Análisis de varianza de vainas por planta

Vainas por planta

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-------------------|----|----------------|-------------------|-------|
| Vainas por planta | 20 | 0.89 | 0.83 | 11.62 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------|---------|----|--------|-------|---------|
| Modelo | 1096.90 | 7 | 156.70 | 14.00 | 0.0001 |
| trat | 759.70 | 4 | 189.93 | 16.97 | 0.0001 |
| Bloq(rept) | 337.20 | 3 | 112.40 | 10.04 | 0.0014 |
| Error | 134.30 | 12 | 11.19 | | |
| Total | 1231.20 | 19 | | | |

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 11.1917 gl: 12

| trat | Medias | n | E.E. | |
|------|--------|---|------|---|
| 4 | 34.50 | 4 | 1.67 | A |
| 5 | 33.50 | 4 | 1.67 | A |
| 2 | 33.25 | 4 | 1.67 | A |
| 3 | 23.00 | 4 | 1.67 | B |
| 1 | 19.75 | 4 | 1.67 | B |

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

ANEXO 6. Análisis de varianza de granos por vaina

Granos por vaina

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------------|----|----------------|-------------------|------|
| Granos por vaina | 20 | 0.98 | 0.98 | 3.91 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------|----------|----|---------|--------|---------|
| Modelo | 12469.00 | 7 | 1781.29 | 106.98 | <0.0001 |
| trat | 11405.80 | 4 | 2851.45 | 171.26 | <0.0001 |
| Bloq(rept) | 1063.20 | 3 | 354.40 | 21.29 | <0.0001 |
| Error | 199.80 | 12 | 16.65 | | |
| Total | 12668.80 | 19 | | | |

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 16.6500 gl: 12

| trat | Medias | n | E.E. | |
|------|--------|---|------|---|
| 4 | 133.25 | 4 | 2.04 | A |
| 2 | 119.75 | 4 | 2.04 | B |
| 5 | 114.25 | 4 | 2.04 | B |
| 3 | 88.00 | 4 | 2.04 | C |
| 1 | 66.75 | 4 | 2.04 | D |

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

ANEXO 7. Análisis de varianza del peso de grano en campo (kg)

peso en campo (kg)

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|--------------------|----|----------------|-------------------|-------|
| peso en campo (kg) | 20 | 0.82 | 0.72 | 20.01 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------|------|----|---------|-------|---------|
| Modelo | 0.05 | 7 | 0.01 | 7.85 | 0.0011 |
| trat | 0.02 | 4 | 0.01 | 5.95 | 0.0071 |
| Bloq(rept) | 0.03 | 3 | 0.01 | 10.39 | 0.0012 |
| Error | 0.01 | 12 | 9.6E-04 | | |
| Total | 0.06 | 19 | | | |

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 0.0010 gl: 12

| trat | Medias | n | E.E. | |
|------|--------|---|------|-----|
| 2 | 0.21 | 4 | 0.02 | A |
| 4 | 0.18 | 4 | 0.02 | A B |
| 5 | 0.14 | 4 | 0.02 | B C |
| 1 | 0.13 | 4 | 0.02 | C |
| 3 | 0.12 | 4 | 0.02 | C |

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

Anexo 8 Analisis de suelo inicial

Tabla 6 analisis de suelo inicial

| Parámetro | Resultado | Unidad | Nivel | Interpretación |
|-----------------------|-----------|-------------------|----------------|--|
| Materia orgánica (MO) | 4.2 | % | Alto | Un suelo fértil, actividad microbiana beneficiosa. |
| pH | 6.26 | - | Optimo | Condiciones adecuadas para mayoría de cultivos. |
| Nitrógeno (N) | 0.21 | % | Medio | Suficiente N para el crecimiento básicos de cultivos. |
| Fosforo (P) | 37.6 | (ppm) (Bray I) | Medio | Disponibilidad de fosforo para desarrollo radicular y energía celular. |
| Potasio (K) | 154.3 | (ppm) | Medio -Alto | Suelo con suficiente K para la mayoría de cultivos. |
| Arena | 58.6 | % | Alto | Textura franco arenosa, lo que determina un suelo con buen drenaje. |
| Limo | 24 | % | Medio | |
| Arcilla | 18 | % | Bajo | |

Anexo 9. Preparación de terreno para establecer el cultivo



Anexo 10. Colocación de sistema de riego y macrotunel



Anexo 11. Colocación de barrera para proteger de plagas externas al cultivo



Anexo 12. Toma de variables



Anexo 13. Aplicación de biofertilizantes y MM.



Anexo 14. Cosecha del cultivo

