

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**Escuela Profesional de Agronomía**



**TESIS**

**“Efecto de la fertilización biológica mixta en el rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Jesús – Cajamarca, 2024”**

**Para Optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Presentado por el Bachiller:

**Marcos Lolo Chacón Chávez**

ASESOR:

**Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia**

CAJAMARCA – PERÚ

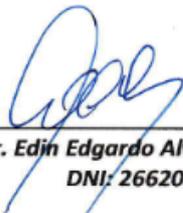
**-2025-**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador: **MARCOS LOLO CHACÓN CHÁVEZ**
2. DNI: 47067186  
Escuela Profesional/Unidad UNC: Agronomía
3. Asesor:  
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
4. Facultad/Unidad UNC: Ciencias Agrarias
5. Grado académico o título profesional:  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
6. Tipo de Investigación:  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico  
  
Título de Trabajo de Investigación: "EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN BIOLÓGICA MIXTA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) EN JESÚS – CAJAMARCA, 2024"
7. Fecha de evaluación: 17/07/2025
8. Software antiplagio:  TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
9. Porcentaje de Informe de Similitud: 19%
10. Código Documento: oid: 3117:474505572
11. Resultado de la Evaluación de Similitud: 19%  
 APROBADO       PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O  
DESAPROBADO

Fecha Emisión: 24/07/2025

*Firma y/o Sello  
Emisor Constancia*



---

**Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia**  
DNI: 26620894

\* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

## FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los cuatro días del mes de julio del año dos mil veinticinco, se reunieron en el ambiente **2C - 202** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 345-2025-FCA-UNC, de fecha 16 de junio del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN BIOLÓGICA MIXTA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) EN JESÚS - CAJAMARCA, 2024**", realizada por el Bachiller **MARCOS LOLO CHACÓN CHÁVEZ** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las dieciséis horas y cinco minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de diecisiete (17); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las diecisiete horas y veinte minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Dr. Isidro Rimarachín Cabrera  
PRESIDENTE

Dr. Wilfredo Poma Rojas  
SECRETARIO

MBA Ing. Santiago Demetrio Medina Miranda  
VOCAL

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

Mi tesis va dedicado a mis padres, que desde el cielo me envuelve con su amor infinito, guiando cada día cada paso en mi camino. Que con esfuerzo, perseverancia y esperanza se hizo realidad mi sueño.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a toda la plana docente de la Escuela Profesional de Agronomía de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, por los conocimientos compartidos durante mi formación profesional, a mi asesor Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia, a Kevin Sánchez y a mis hermanos por su apoyo incondicional.

## ÍNDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| DEDICATORIA .....   | ii   |
| AGRADECIMIENTO .....  | iii  |
| ÍNDICE GENERAL .....  | iv   |
| LISTA DE TABLAS .....   | vi   |
| LISTA DE FIGURAS.....   | vii  |
| RESUMEN .....   | viii |
| ABSTRACT.....   | ix   |
| CAPÍTULO I .....  | 1    |
| INTRODUCCIÓN .....  | 1    |
| 1.1. Descripción del problema. ....                               | 1    |
| 1.1.1. <i>Formulación del problema.</i> .....                     | 3    |
| 1.2. Justificación. ....  | 3    |
| 1.3. Objetivos.....   | 4    |
| 1.3.1. <i>Objetivo general.</i> .....                             | 4    |
| 1.3.2. <i>Objetivos específicos.</i> .....                        | 5    |
| 1.4. Hipótesis. ....  | 5    |
| CAPÍTULO II.....  | 6    |
| REVISIÓN DE LITERATURA .....                                      | 6    |
| 2.1. Antecedente.....   | 6    |
| 2.2. Bases teóricas.....  | 9    |
| 2.2.1. <i>Origen del frijol</i> .....                             | 9    |
| 2.2.2. <i>Distribución, importancia y situación actual.</i> ..... | 9    |
| 2.2.3. <i>Clasificación taxonómica.</i> .....                     | 9    |
| 2.2.4. <i>Descripción morfológica del frijol.</i> .....           | 10   |
| 2.2.5. <i>Etapas fenológicas del frijol.</i> .....                | 12   |
| 2.2.6. <i>Requerimientos edafoclimáticos.</i> .....               | 14   |
| 2.2.7. <i>Fertilización biológica.</i> .....                      | 14   |
| 2.2.8. <i>Principales bacterias fijadoras de nitrógeno</i> .....  | 15   |
| 2.2.9. <i>El nitrógeno atmosférico.</i> .....                     | 17   |
| 2.2.10. <i>Fijación biológica de nitrógeno.</i> .....             | 17   |
| 2.2.11. <i>Simbiosis leguminosa.</i> .....                        | 17   |
| 2.2.12. <i>La nitrogenasa.</i> .....                              | 18   |

|  |    |
|--|----|
| 2.2.13. <i>Leghemoglobina</i> .....              | 18 |
| 2.3. Definición de términos.....                 | 19 |
| CAPÍTULO III.....                                | 20 |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....                        | 20 |
| 3.1. Ubicación.....                              | 20 |
| 3.2. Materiales.....                             | 22 |
| 3.3. Metodología.....                            | 22 |
| 3.3.1. <i>Variables</i> .....                    | 22 |
| 3.3.2. <i>Diseño experimental</i> .....          | 23 |
| 3.3.3. <i>Arreglos de los tratamientos</i> ..... | 23 |
| 3.3.4. <i>Procedimientos</i> .....               | 24 |
| 3.3.5. <i>Evaluaciones</i> .....                 | 27 |
| CAPÍTULO IV.....                                 | 29 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                      | 29 |
| 4.1. Número de vainas de frijol.....             | 29 |
| 5.1. Peso de vainas de frijol.....               | 32 |
| 6.1. Rendimiento de frijol.....                  | 35 |
| 7.1. Altura de planta de frijol.....             | 38 |
| CAPÍTULO V.....                                  | 41 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....              | 41 |
| 5.1. Conclusiones.....                           | 41 |
| 5.2. Recomendaciones.....                        | 41 |
| BIBLIOGRAFÍA.....                                | 42 |
| ANEXOS.....                                      | 50 |

## LISTA DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1</b> Microorganismos fijadores de nitrógeno. ....                  | 15 |
| <b>Tabla 2</b> Tratamientos en estudio. ....                                 | 24 |
| <b>Tabla 3</b> Resultado del Análisis del suelo del cultivo de alfalfa. .... | 25 |
| <b>Tabla 4</b> Análisis de varianza para el número de vainas. ....           | 29 |
| <b>Tabla 5</b> Prueba de Tukey para el número de vainas.....                 | 30 |
| <b>Tabla 6</b> Análisis de varianza para el peso de vainas. ....             | 32 |
| <b>Tabla 7</b> Prueba de Tukey para el peso de vainas.....                   | 33 |
| <b>Tabla 8</b> Análisis de varianza para el rendimiento de frijol. ....      | 35 |
| <b>Tabla 9</b> Prueba de Tukey para el rendimiento de frejol. ....           | 36 |
| <b>Tabla 10</b> Análisis de varianza para la altura de planta. ....          | 38 |
| <b>Tabla 11</b> Prueba de Tukey para la altura de planta. ....               | 39 |
| <b>Tabla 12</b> Resultados de numero de vainas de frijol. ....               | 50 |
| <b>Tabla 13</b> Resultados de pesos de vainas de frijol.....                 | 50 |
| <b>Tabla 14</b> Resultados del rendimiento de frijol por hectárea.....       | 50 |
| <b>Tabla 15</b> Resultados de altura de planta de planta. ....               | 50 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> Ubicación del experimento.....                                       | 21 |
| <b>Figura 2</b> Distribución de bloques y tratamientos en el campo experimental..... | 24 |
| <b>Figura 3</b> Número de vainas por planta.....                                     | 30 |
| <b>Figura 4</b> Peso de vainas por planta. ....                                      | 33 |
| <b>Figura 5</b> Rendimiento de frijol.....   | 36 |
| <b>Figura 6</b> Altura de planta de frijol. ....                                     | 39 |
| <b>Figura 7</b> Resultados de análisis de suelos.....                                | 51 |
| <b>Figura 8</b> Preparación de terreno.....  | 52 |
| <b>Figura 9</b> Delimitación de parcelas. ....                                       | 52 |
| <b>Figura 10</b> Surcado de parcelas. ....   | 52 |
| <b>Figura 11</b> Identificación de tratamientos. ....                                | 53 |
| <b>Figura 12</b> Inoculación de semilla.....   | 53 |
| <b>Figura 13</b> Riego de machaco. ....  | 53 |
| <b>Figura 14</b> Siembra.....  | 54 |
| <b>Figura 15</b> Deshierbo.....  | 54 |
| <b>Figura 16</b> Manejo Fitosanitario.....   | 54 |
| <b>Figura 17</b> Evaluación de numero de vainas. ....                                | 55 |
| <b>Figura 18</b> Evaluación del peso de vainas.....                                  | 55 |
| <b>Figura 19</b> Evaluación de altura de planta.....                                 | 55 |

## RESUMEN

La presente investigación se realizó bajo el siguiente problema de investigación ¿Cómo influye la fertilización biológica mixta en el rendimiento del cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Jesús – Cajamarca?. Con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización biológica mixta en el rendimiento de frijol. La investigación se realizó en el sector Chuco, ubicado en el distrito de Jesús, provincia de Cajamarca, a una altitud de 2618 msnm, se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con tres repeticiones; se aplicaron siete tratamientos: T0 (sin inoculación), T1 (*Rhizobium*), T2 (*Azotobacter*), T3 (*Azospirillum*), T4 (*Rhizobium* + *Azotobacter*), T5 (*Rhizobium* + *Azospirillum*) y T6 (*Rhizobium* + *Azotobacter* + *Azospirillum*). Los resultados indicaron que los tratamientos individuales con biofertilizantes demostraron superioridad en el cultivo de frijol. T2 (*Azotobacter*) y T3 (*Azospirillum*) lograron 50 y 48 vainas por planta, superando a T1 (*Rhizobium*) con 46 vainas; los tratamientos combinados T5, T4 y T6 obtuvieron menores valores, mientras que el testigo T0 alcanzó 26.47 vainas; en peso de vainas, T2, T3 y T1 fueron estadísticamente superiores con 0.37 g, 0.33 g y 0.31 g, respectivamente, mientras que los tratamientos combinados mostraron valores entre 0.22 y 0.24 g, y el testigo 0.13 g; en rendimiento, T2 lideró con 15,232.07 kg ha<sup>-1</sup>, seguido de T3 y T1, con incrementos del 137% al 176% respecto al testigo. Los tratamientos combinados registraron incrementos menores; en altura, T2, T3 y T1 alcanzaron hasta 42.87 cm, superando al testigo con 31.03 cm. Los tratamientos individuales mostraron mayor eficacia.

**Palabra clave:** Fertilización biológica, rendimiento, cultivo de frijol.

## ABSTRACT

The present research was conducted under the following research problem: How does mixed biological fertilization influence bean (*Phaseolus vulgaris*) crop yield in Jesús - Cajamarca, with the objective of evaluating the effect of mixed biological fertilization on bean yield. The research was carried out in the Chuco sector, located in the district of Jesús, province of Cajamarca, at an altitude of 2618 m.a.s.l., a Block Design Completely Randomized (DBCA) with three replications was used; seven treatments were applied: T0 (no inoculation), T1 (*Rhizobium*), T2 (*Azotobacter*), T3 (*Azospirillum*), T4 (*Rhizobium* + *Azotobacter*), T5 (*Rhizobium* + *Azospirillum*) and T6 (*Rhizobium* + *Azotobacter* + *Azospirillum*). The results indicated that the individual treatments with biofertilizers showed superiority in the bean crop. T2 (*Azotobacter*) and T3 (*Azospirillum*) achieved 50 and 48 pods per plant, surpassing T1 (*Rhizobium*) with 46 pods; the combined treatments T5, T4 and T6 obtained lower values, while the control T0 reached 26.47 pods; in pod weight, T2, T3 and T1 were statistically superior with 0.37 g, 0.33 g and 0.31 g, respectively, while the combined treatments showed values between 0.22 and 0.24 g, and the control 0.13 g; in yield, T2 led with 15,232.07 kg ha<sup>-1</sup>, followed by T3 and T1, with increases of 137% to 176% with respect to the control. The combined treatments registered smaller increases; in height, T2, T3 and T1 reached up to 42.87 cm, surpassing the control with 31.03 cm. The individual treatments showed greater efficacy.

**Key word:** Biological fertilization, yield, bean crop.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris*) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial debido a su valor nutricional y su papel fundamental en la seguridad alimentaria. En el Perú, el cultivo de frijol desempeña un papel significativo en la economía local y en la dieta de la población. Sin embargo, diversos factores como la degradación del suelo y el uso intensivo de fertilizantes químicos han generado preocupaciones sobre la sostenibilidad y la calidad de los productos agrícolas.

En este contexto, la fertilización biológica emerge como una alternativa prometedora para mejorar la productividad y la calidad de los cultivos, al tiempo que se promueve la salud del suelo y se reduce el impacto ambiental. La fertilización biológica, basada en el uso de microorganismos benéficos, materia orgánica y otras fuentes naturales de nutrientes, representa un enfoque sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

El presente estudio se enfoca en investigar el efecto de la fertilización biológica en el rendimiento del cultivo de frijol en el distrito de Jesús – Cajamarca durante el año 2024. Se analizará cómo la aplicación de técnicas de fertilización biológica puede influir en aspectos clave del cultivo, como el crecimiento de las plantas y el rendimiento del cultivo. Los resultados de esta investigación tendrán el potencial de contribuir al desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles y a la mejora de la producción de frijol en la región, beneficiando tanto a los agricultores como al medio ambiente.

### **1.1. Descripción del problema.**

En la actualidad la agricultura enfrenta grandes desafíos para satisfacer la creciente demanda de alimentos de una población en aumento, estimada en 7.953 millones de personas en 2022 (García, 2022). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2023) reporta que el 9,3 % de la población mundial, equivalente a 738 millones de personas, sufre desnutrición en 2022. Para Pérez (2018) se requiere incrementar la producción agrícola en un 70 % para el 2050 según proyecciones de la FAO; en este escenario, surge la necesidad de adoptar prácticas agrícolas sostenibles que aumenten los rendimientos sin dañar el ambiente.

Países como Brasil (2,8 millones de toneladas), México (1,2 millones de toneladas), India (13,2 millones de toneladas) y China (6,5 millones de toneladas) fueron los principales productores de frijol en el 2020, con una producción combinada de 23,7 millones de toneladas (Galicia, s. f.). Para Solís (2019) estos países enfrentan retos como la degradación de 33 % de los suelos agrícolas, el uso excesivo de fertilizantes químicos que alcanzó 109,5 millones de toneladas en 2019, y las fluctuaciones climáticas que provocaron pérdidas de 3,2 billones de dólares en la agricultura entre 2008 y 2018 impactan negativamente los rendimientos. La FAO promueve el manejo integrado de nutrientes mediante la fertilización biológica como estrategia para la sostenibilidad agrícola (Gutiérrez, 2015).

En Perú, el cultivo de frijol es un pilar de la seguridad alimentaria (Barrero, 2020). Según el Ministerio de Agricultura (2022) en el año 2022 se sembraron 99,542 hectáreas de frijol, con un rendimiento promedio de 0,98 toneladas por hectárea; sin embargo, estos rendimientos son bajos en comparación con el potencial del cultivo de 2,5 toneladas por hectárea, debido a factores como la baja fertilidad de los suelos, donde el 60% presentan deficiencias nutricionales, y el limitado uso de prácticas de manejo sostenibles.

En Cajamarca, el frijol es un cultivo tradicional de gran importancia económica y sociocultural, con una superficie sembrada de 21,784 hectáreas en 2022 (MIDAGRI, 2022). No obstante, los agricultores enfrentan dificultades como el acceso limitado a insumos agrícolas, la baja adopción de tecnologías con sólo 12 % de agricultores capacitados, y el impacto del cambio climático en los rendimientos, que cayeron 15 % en los últimos 5 años (Tupayachi, 2020). Según el MIDAGRI (2022) la producción de frijol en Cajamarca fue de 18,926 toneladas, representando sólo el 19 % de la producción nacional.

En el distrito de Baños del Inca, la comunidad rural depende en gran medida del cultivo de frijol para su sustento y seguridad alimentaria, sin embargo, los rendimientos son generalmente bajos, con un promedio de 0,7 toneladas por hectárea en el año; los agricultores locales enfrentan limitaciones como la escasez de recursos económicos para adquirir fertilizantes químicos, con un gasto promedio anual de S/. 200 por hectárea según una encuesta local, el desconocimiento de alternativas sostenibles, y la falta de asistencia técnica, pues sólo el 8 % recibió capacitación en 2022 (Aguilar, 2024).

En este contexto, la investigación sobre el efecto de la fertilización biológica en el rendimiento del cultivo de frijol cobra relevancia como una potencial solución para mejorar la productividad de manera sostenible, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y al desarrollo rural en los diferentes ámbitos geográficos.

### **1.1.1. Formulación del problema.**

¿Cómo influye la fertilización biológica mixta en el rendimiento del cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Jesús – Cajamarca, 2024?

### **1.2. Justificación.**

Esta investigación contribuirá a ampliar el conocimiento sobre las metodologías y técnicas adecuadas para la aplicación de la fertilización biológica en el cultivo de frijol; se evaluarán diferentes tipos de inoculantes biológicos, dosis y momentos de aplicación, lo que permitirá establecer protocolos estandarizados y eficientes para su implementación a nivel de campo; además, se generarán datos empíricos sobre el efecto de estos tratamientos en el rendimiento del cultivo, lo que enriquecerá las metodologías de investigación en este ámbito.

Los resultados de esta investigación tendrán implicaciones prácticas directas para los agricultores dedicados al cultivo de frijol. Si se demuestra que la fertilización biológica es efectiva para mejorar los rendimientos, se proporcionará una alternativa viable y sostenible a los fertilizantes químicos, cuyo uso excesivo ha provocado problemas ambientales y económicos (Altier, 1999). Los agricultores, especialmente los pequeños productores, podrán adoptar estas prácticas de bajo costo y amigables con el ambiente, lo que redundaría en mejores ingresos y mayor seguridad alimentaria (Nishikawa, 2016).

El frijol es un cultivo de gran importancia socioeconómica y nutricional en muchas regiones del mundo (Sangerman, 2010). Aumentar su productividad de manera sostenible contribuiría directamente a mejorar la seguridad alimentaria y el bienestar de las comunidades rurales que dependen de este cultivo; además, la fertilización biológica podría reducir la dependencia de insumos externos y promover la soberanía alimentaria de estas comunidades, fortaleciendo su autonomía y resiliencia (Altieri y Nicholls, 2013).

Esta investigación aportará conocimientos teóricos sobre los mecanismos y procesos involucrados en la interacción entre los inoculantes biológicos y el cultivo de frijol. Se

profundizará en el entendimiento de las relaciones simbióticas entre los microorganismos y las plantas, así como en los efectos de estas asociaciones en el crecimiento, la nutrición y la productividad vegetal (Bonilla, 2021). Estos aportes teóricos servirán como base para futuras investigaciones y el desarrollo de nuevas tecnologías en el campo de la fertilización biológica y la agricultura sostenible.

En definitiva, esta investigación reviste una importancia crucial en el contexto actual, donde la agricultura enfrenta el reto de incrementar la producción de alimentos de manera sostenible para hacer frente a la creciente demanda de una población mundial en aumento (Calero, 2024). La fertilización biológica se perfila como una estrategia prometedora para alcanzar este objetivo, al ofrecer un enfoque ecológico y económicamente viable para optimizar los rendimientos de cultivos clave como el frijol (Altieri y Nicholls, 2013).

Los resultados obtenidos en este estudio no solo contribuirán a fortalecer la base de conocimientos científicos en torno a la aplicación de la fertilización biológica en el cultivo de frijol, sino que también sentarán las bases para su potencial adopción a gran escala por parte de los agricultores. Esto podría traducirse en beneficios tangibles para la productividad agrícola, la seguridad alimentaria, la preservación de los recursos naturales y el desarrollo rural sostenible.

En este sentido, la presente investigación representa un valioso aporte para impulsar la transición hacia sistemas agroalimentarios más resilientes, equitativos y respetuosos con el medio ambiente, aspectos fundamentales para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de la agricultura y asegurar la provisión de alimentos para las generaciones presentes y futuras.

### **1.3. Objetivos.**

#### **1.3.1. Objetivo general.**

Evaluar el efecto de la fertilización biológica mixta en el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Jesús – Cajamarca, 2024.

### **1.3.2. Objetivos específicos.**

Evaluar el efecto de la inoculación individual o en concentración de *Rhizobium*, *Azotobacter* y *Azospirillum* en el rendimiento y componentes del rendimiento (altura de planta, número de vainas y peso de vainas) en cultivo de frijol en Jesús – Cajamarca.

### **1.4. Hipótesis.**

La fertilización biológica mixta influye positivamente en el rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Jesús – Cajamarca, 2024.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedente

Medina et al. (2023) investigó el potencial de hongos micorrizas y bacterias *Rhizobium* en el desarrollo fenológico y rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*). Se realizó un experimento utilizando un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres bloques y cuatro tratamientos que fueron: T1 con Micorrizas a 10 gr/m lineal, T2 con *Rhizobium* a 8.33 gr/lb de semilla, T3 con Micorrizas y *Rhizobium* a 10 gr/m lineal y 8.33 gr/lb de semilla respectivamente, y un testigo. Los resultados indicaron que el tratamiento T3 (Micorrizas + *Rhizobium*) fue el mejores en cuanto al desarrollo y rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad INTA-rojo; este tratamiento presentó la mayor altura de plantas, alcanzando un máximo de 46 cm a los 35 días después de la siembra (DDS); asimismo, obtuvo el mayor diámetro promedio de plantas, con 7,84 mm a los 35 DDS, y el mayor número de hojas por planta, con 19 hojas a los 35 DDS; en cuanto al rendimiento, el T3 sobresalió con el mayor promedio de vainas (23 por planta), semillas (76 por planta), peso de 1000 semillas (226 g), producción de semilla fresca (1378 g en 90 plantas) y seca (1214 g en 90 plantas), y la mayor producción por hectárea (1798 kg ha<sup>-1</sup>). Además, el conteo de esporas de micorrizas en 100 g de suelo fue más alto en el T3 (4154 esporas), similar al tratamiento T1 (4302 esporas); el T3 también presentó el mayor contenido de NO<sub>3</sub> (109.6 kg/mz) y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (150.71 kg/mz) en el suelo, mientras que el tratamiento T2 obtuvo la mayor concentración de NH<sub>4</sub> (82.40 kg/mz).

Mero (2021) evaluó la producción de maní mediante la inoculación de *Azotobacter* sp. la investigación utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro tratamientos (T1: 1.0 g, T2: 2.0 g, T3: 3.0 g de *Azotobacter* y Testigo 0 g de *Azotobacter*) distribuidos en cinco repeticiones. Los resultados indicaron que el tratamiento *Azotobacter* 2 g se presentó el mayor número de días a la floración con 35 días, mientras que los tratamientos *Azotobacter* 3 g y el testigo registraron los menores valores con 31,8 días; para la altura de la planta, los tratamientos *Azotobacter* 1 g y *Azotobacter* 2 g alcanzaron las mayores alturas promedio con 74,8 cm y 71,34 cm, respectivamente; el número de vainas por planta fue superior en los tratamientos *Azotobacter* 1 g con 26,7 vainas y *Azotobacter* 3 g con 26,38 vainas; en relación al número de granos por vaina, el tratamiento *Azotobacter* 1 g obtuvo el mayor promedio con 3,04 granos, seguido por *Azotobacter* 3 g con 2,78 granos; el peso promedio de 100 granos fue

mayor en los tratamientos *Azotobacter* 1 g (59 g) y *Azotobacter* 2 g (58,2 g); finalmente, el rendimiento más alto se logró con el tratamiento *Azotobacter* 1 g, alcanzando un promedio de 3742,8 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que el testigo presentó el menor rendimiento con 2786,4 kg ha<sup>-1</sup>.

Ayvar et al. (2020) determinó el rendimiento de tres genotipos de frijol ejotero en respuesta a las aplicaciones de compuestos químicos, biológicos y orgánicos, en forma individual y combinada para lograr el mayor rendimiento del cultivo. Se utilizaron tres genotipos de frijol ejotero Straik, Palma y Zapata y cuatro tipos de manejo agronómico: Químico, biológico, orgánico y combinado; la combinación de estos factores con sus respectivos niveles generó 12 tratamientos que se distribuyeron en cuatro repeticiones en un diseño experimental de bloques al azar con arreglo de parcelas divididas haciendo un total de 48 unidades experimentales. Los resultados indicaron que los genotipos Straik y Zapata presentaron mayor altura de planta, con un incremento del 2.2% de Straik en relación a Palma; los manejos orgánicos y químicos generan 11.9% y 9.5% más altura respectivamente, que el manejo biológico; la interacción genotipo-manejo fue significativa, destacando Straik con manejo químico y combinado, Palma con químico y orgánico, y Zapata con combinado; en cuanto al diámetro del tallo, los genotipos Zapata y Palma obtuvieron 0.61 cm, mayor grosor que Straik con 0.55 cm; el manejo combinado produjo el mayor diámetro del tallo; para la longitud de vaina, el genotipo Straik presentó las vainas más largas con 12.03 cm, seguido de Palma (11.64 cm) y Zapata (11.18 cm); el manejo combinado generó 12,08 cm, mayor longitud que el orgánico (11,65 cm), químico (11,54 cm) y biológico (11,19 cm); la interacción fue significativa, destacando Straik con los cuatro tipos de manejo; en rendimiento de grano, Straik y Zapata tuvieron 1,73 kg cada uno, mayor que Palma con 1,54 kg; el manejo combinado obtuvo 1,93 kg, superando al químico (1,82 kg), orgánico (1,59 kg) y biológico (1,34 kg). La mayor interacción fue Straik con manejo combinado de 2,18 kg.

Rivera (2023) determinó el efecto de diferentes dosis de *Rhizobium phaseoli* sobre el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris*) var. Canario en condiciones de campo. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro repeticiones, y 5 tratamientos, se utilizó 320 g de semilla y se inoculó con 7 g *Rhizobium phaseoli* en el T1, 14 g *Rhizobium phaseoli* en el T2 21 g *Rhizobium phaseoli* en el T3, el T4 con inoculación de *Rhizobium phaseoli* y fertilizadas con N y el T5 sin nada. Los resultados indicaron que en el tratamiento T4 (fertilización nitrogenada con inoculante) se registraron los mejores resultados en varias variables evaluadas en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad Canario, este

tratamiento obtuvo mayor altura promedio de planta (58,96 cm), mayor longitud de raíz (25,70 cm), mayor peso fresco de la parte aérea (70,26 g/planta), mayor peso fresco de la raíz (2,48 g/planta), mayor peso seco de la raíz (0,93 g/planta), mayor peso de la raíz más nódulos (2,91 g/planta), mayor número de nódulos por raíz (21,54), mayor longitud de vaina (9,89 cm), mayor número de granos por vaina (3,3475), mayor número de vainas por planta (11,87) y mayor rendimiento de granos por planta (472 g/planta); por otro lado, el tratamiento T3 (inoculado con 21 g/320 g de frijol) destacó con el mayor peso seco de la parte aérea (12,15 g/planta) y el mayor peso seco de los nódulos (0,54 g/planta); mientras que el tratamiento T5 (sin inoculante ni fertilizante) presentó el mayor porcentaje de nitrógeno total en el grano (3,87 %).

Lonazco (2022) evaluó el efecto de la co-inoculación con bacterias de *Bradyrhizobium* y *Azospirillum*, en el rendimiento, calidad y rentabilidad de 4 ecotipos de tarwi. Para el experimento se usó el diseño de parcelas divididas conducido en el Diseño Bloques Completo al Azar (DBCA) con arreglo factorial de 4 ecotipos de tarwi, 4 aplicaciones (aplicaciones de *Bradyrhizobium*, *Bradyrhizobium* – *Azospirillum*, un testigo positivo Urea y testigo absoluto). Los resultados indicaron que el mayor rendimiento de grano seco de tarwi corresponde a las interacciones ecotipo 3 con *Bradyrhizobium* y a la interacción ecotipo 3 con *Bradyrhizobium* y *Azospirillum* con 2254.01 y 2216.71 kg. ha<sup>-1</sup> de grano seco respectivamente; los tratamientos con fertilización nitrogenada y el testigo absoluto reportaron un rendimiento mínimo de 1524.26 y 1361.17 kg. ha<sup>-1</sup> de grano seco por consiguiente una rentabilidad baja; el mayor porcentaje de rentabilidad económica se obtuvo con el ecotipo 3 más *Bradyrhizobium* 285.8 % y una utilidad de 6679.02 soles por hectárea. Todos los ecotipos inoculados con las bacterias *Bradyrhizobium* y *Azospirillum* fueron significativamente superiores a los tratamientos sin inoculante y abonamiento con urea.

Bautista (2024) estudió el efecto de *Azospirillum brasilense* en el secuestro de carbono y rendimiento de *Zea mays* bajo condiciones de campo. Para ello, se realizó un experimento utilizando un diseño de bloques completos al azar, cuatro tratamientos, tres repeticiones en ambientes combinados. Los resultados demostraron que la dosis de 64 g *A. brasilense*/kg de semilla produjo el mayor rendimiento de granos de 10.64 t/ha<sup>-1</sup> y la mayor captura de carbono de 33.33 t/ha<sup>-1</sup>, mientras que el tratamiento testigo sin inoculación (0 g) obtuvo el menor rendimiento de 5.66 t/ha<sup>-1</sup> y la menor captura de 28.33 t/ha<sup>-1</sup>; además, la altura máxima de planta de 276.25 cm y la mayor longitud de raíz de 46.72 cm se registraron con 64 g *A. brasilense*/kg de semilla, en contraste con la menor altura de 185.25 cm y longitud de 20.5 cm

del testigo, respectivamente; el peso fresco (823.78 g) y seco (174.71 g) más elevado de la planta correspondió a la dosis de 64 g, mientras que el testigo presentó el menor peso fresco (607.75 g) y el menor peso seco (104.96 g); en general, la inoculación con *A. brasilense*, especialmente a 64 g/kg de semilla, incrementó significativamente el rendimiento, captura de carbono y parámetros de crecimiento del maíz en comparación con la ausencia de inoculación.

## **2.2. Bases teóricas.**

### **2.2.1. Origen del frijol**

El frijol tiene su origen en Mesoamérica y los Andes, con diversas evidencias que lo sitúan en esta región; existen alrededor de 150 especies de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), distribuidas desde México hasta la Patagonia, es un cultivo fundamental en la dieta latinoamericana desde hace 8000 años, siendo importante en México, Perú y otros países andinos; el frijol se cultiva ampliamente en Latinoamérica, preferentemente en temporadas secas debido a su sensibilidad al exceso de humedad (BBC, 2012).

### **2.2.2. Distribución, importancia y situación actual.**

En Perú, las principales regiones productoras de frijol son la sierra (46%), la costa (36%) y la selva (18%); la costa destaca por su mayor rendimiento unitario (47.7%), seguida de la sierra (34.4%) y la selva (18%); las áreas cultivadas alcanzan las 70 mil hectáreas, con rendimientos promedio de 3 mil kg ha<sup>-1</sup> para plantas arbustivas y 4 mil kg ha<sup>-1</sup> para plantas indeterminadas, generando una producción total de 65 mil toneladas métricas (Urribarri, 2022).

El cultivo del frijol tiene gran importancia económica y social debido a sus propiedades nutritivas, su relativo bajo costo y fácil acceso; como leguminosa, fija nitrógeno y mejora la calidad del suelo (Bastida, 2023). Además, esta leguminosa ha sobrevivido a través de los tiempos, considerada un alimento universal por sus cualidades nutrimentales y proteicas que aportan una dieta sustancial y saludable, en la actualidad, sigue siendo muy importante y accesible para familias de bajos y medianos recursos, formando parte de innumerables platos como fuente proteica indispensable (Begoña, 2010).

### **2.2.3. Clasificación taxonómica.**

Según Valladares (2010), la clasificación taxonómica del cultivo de frijol se enmarca en la división Magnoliophyta, correspondiente a las plantas con flores. Pertenece a la clase

Magnoliopsida y a la subclase Rosidae; su orden es Fabales y se ubica dentro de la familia Fabaceae, una de las más importantes por su valor alimenticio; a nivel de tribu, se clasifica como Phaseoleae, mientras que su género es *Phaseolus* y la especie es *vulgaris*; de esta manera, el nombre científico completo del frijol común es *Phaseolus vulgaris*.

#### **2.2.4. Descripción morfológica del frijol.**

Urribarri (2022) describe las partes morfológicas del frijol (*Phaseolus vulgaris*) como una planta herbácea anual, con un crecimiento variable y sensible a la duración del día, que alcanza entre 50 y 90 cm de altura, dependiendo de la variedad y las condiciones del suelo; su crecimiento es dirigido, y la capacidad de carga de la planta está influenciada por la forma y disposición de los tallos.

##### **a. Raíz.**

En su etapa inicial, está formado por la radícula del embrión que se transforma en la raíz principal, de la cual surgen raíces secundarias y terciarias sucesivamente; en los puntos de crecimiento de estas subdivisiones se encuentran los pelos absorbentes, que juegan un papel crucial en la absorción de agua y nutrientes del suelo; la mayor parte del sistema radicular se concentra en los primeros 20 cm de profundidad del suelo; sin embargo, en suelos sueltos y fértiles, las raíces de una variedad bien adaptada pueden alcanzar hasta un metro de longitud; además, las raíces suelen presentar nódulos de forma poliédrica, de 2 a 5 mm de diámetro, colonizados por bacterias del género *Rhizobium* (Effio, 2022).

##### **b. Tallo y ramas.**

El tallo del frijol tiene una forma cilíndrica-angulosa y funciona como el eje principal de la planta. Está compuesto por nudos, entrenudos y yemas axilares. Dependiendo de la especie o variedad de la planta, el tallo puede ser erecto, semi-postrado o postrado. En las variedades trepadoras o guías, el crecimiento del tallo es indeterminado. Por otro lado, las ramas con crecimiento determinado presentan una inflorescencia terminal (Rivera, 2023).

##### **c. Hojas.**

La planta de frijol tiene dos tipos de hojas: simples y compuestas, las hojas simples son las hojas primarias que están en posición opuesta en el segundo nudo y caen antes que la planta alcance su máximo desarrollo, las hojas compuestas, son las hojas trifoliadas típicas del frijol;

el foliolo central es simétrico, en tanto que los dos laterales son asimétricos (compuestas de tres foliolos con los extremos acuminados) y pubescentes de forma acorazonada (Torres, 2024).

#### **d. Inflorescencia.**

Las inflorescencias del frijol pueden ser terminales o axilares, siendo las terminales propias de los hábitos de crecimiento tipo I; en una inflorescencia, se pueden identificar tres partes principales: el eje de la inflorescencia, compuesto por el pedúnculo y el raquis; las bractéolas primarias; y los botones florales; antes de que las primeras flores se abran, el pedúnculo se alarga rápidamente; el raquis es una serie de nudos, que se reconocen por la presencia de brácteas primarias (Heredia, 2024).

#### **e. Flor.**

La flor del frijol consta de cáliz, corola, androceo y gineceo; el cáliz es campanulado con cinco dientes y dos bractéolas en la base; la corola, de color blanco, rosado o púrpura, tiene cinco pétalos: dos soldados (quilla) y tres libres, siendo el más prominente el estandarte; el androceo tiene nueve estambres soldados y uno libre, mientras que el gineceo incluye el ovario, el estilo encorvado y el estigma lateral con pelos en forma de brocha (Valladolid, 2001).

#### **f. Fruto.**

El fruto del frijol es una vaina con dos valvas derivadas del ovario comprimido, en la unión de las dos valvas aparecen dos suturas: la dorsal, llamada placentar, y la ventral; los óvulos, que se convertirán en semillas, se disponen alternadamente en la sutura placentar, lo que hace que las semillas también se alternen; las vainas suelen ser glabras o subglabras con epidermis pilosa (Vásquez et al., 2023).

#### **g. Semilla.**

La semilla de frijol presenta diversos colores y formas, como ovoides, esféricas o arriñonadas; externamente, posee una testa que es la cubierta, un hilum que es la cicatriz dejada por la unión (funículo) con la sutura placentar, un micrópilo que es una abertura cercana al hilum por donde la semilla absorbe agua para la germinación, y un rafe que es un abultamiento cercano al hilum, en sentido opuesto al micrópilo, y se origina de la soldadura del funículo con los tegumentos externos del óvulo; internamente, la semilla está compuesta únicamente por el embrión, que incluye la plúmula, las dos hojas primarias, el hipocótilo, los dos cotiledones que almacenan las reservas nutritivas y la radícula (Morales et al., 2017).

### **2.2.5. Etapas fenológicas del frijol.**

A lo largo del desarrollo de la planta de frijol, se presentan cambios morfológicos y fisiológicos que permiten identificar las distintas etapas del cultivo; se han definido diez fases, determinadas por eventos fisiológicos clave, que juntas forman la escalada de desarrollo de las leguminosas (Lépiz, 2018).

En el crecimiento y desarrollo fenológico del frijol se destacan dos conceptos fundamentales: el crecimiento, que se refiere al aumento progresivo del volumen o peso y se mide mediante parámetros como la longitud y la acumulación de materia seca, y el desarrollo, que abarca los cambios estructurales y fisiológicos, especialmente en las flores. y frutos, como la transición de la fase vegetativa a la reproductiva (Quintana, 2016).

Cada etapa se identifica con un código formado por una letra y un número; la letra indica la fase de la planta: V para la etapa vegetativa y R para la etapa reproductiva; los números del 0 al 9 señalan la posición dentro de esa fase (Urribarri, 2022). Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] (2019) menciona las siguientes fases fenológicas:

#### **a. Etapa V0 (Germinación).**

Las semillas absorben agua, desencadenando divisiones celulares y reacciones bioquímicas que liberan nutrientes de los cotiledones; luego, emerge la raíz, que se convierte en la raíz primaria al desarrollarse raíces secundarias sobre ella.

#### **b. Etapa V1 (Emergencia).**

Comienza con la aparición y crecimiento de los cotiledones, que se separan antes de abrirse las hojas principales.

#### **c. Etapa V2 (Hojas primarias).**

El proceso comienza cuando las hojas principales se abren y los cotiledones se arrugan y doblan.

#### **d. Etapa V3 (Primera hoja trifoliada).**

Empieza cuando la planta tiene tres hojas completamente desplegadas, y en un cultivo, cuando el árbol muestra su primera hoja de conocimiento por quincuagésima vez.

**e. Etapa V4 (Tercera hoja trifoliada).**

Comienza con la apertura de la tercera hoja y se reconoce cuando el 50% de las plantas lo muestran, permitiendo distinguir estructuras vegetativas como tallos, ramas y hojas.

**f. Etapa R5 (Prefloración).**

Empieza con los primeros botones florales y se considera iniciada cuando 50 plantas en el cultivo los presentan.

**g. Etapa R6 (Floración).**

Comienza con la primera floración de la planta y, en un cultivo, cuando la planta número 50 muestra este rasgo; la floración puede iniciar desde la parte superior o inferior del tallo, dependiendo de la variedad; tras la polinización, la flor marchita y se desarrolla la semilla.

**h. Etapa R7 (Formación de las vainas).**

La etapa comienza con la aparición del primer fruto con la corola desprendida, siendo señalada en un cultivo cuando la planta número 50 muestra este rasgo; inicialmente, implica el desarrollo de folíolos, y durante los primeros 10-15 días después de la floración, la mayoría de las vainas se desarrollan verticalmente con semillas menos maduras; una vez que el fruto alcanza su tamaño y peso máximos, comienza su llenado.

**i. Etapa R8 (Llenado de las vainas).**

Comienza en cultivo cuando la mitad de las plantas empiezan a llenar la primera vaina, durante esta fase, las semillas experimentan un crecimiento activo y al final, los granos adquieren las características propias de la variedad al perder su color verde.

**j. Etapa R9 (Maduración).**

Es la etapa final del desarrollo de la planta, donde ocurre la maduración y el secado de las vainas; la cosecha inicia cuando al menos una vaina en 50 plantas empieza a decolorarse y secarse; las semillas pierden agua hasta alcanzar el 15-20% y adquieren su color característico.

### **2.2.6. *Requerimientos edafoclimáticos.***

#### **a. Clima.**

Los frijoles prefieren regiones con precipitación anual entre 1000-1500 mm y temperaturas mínimas de 8°C para la germinación y 15°C para la floración, además de una humedad mínima del 50 % (Ruiz, 2013).

#### **b. Suelo.**

Los suelos ideales para el cultivo de frijoles son variados, pero se prefieren los que son bien drenados, ricos en humus y tienen una textura franco-arenosa o franco-franca; la planta es sensible al pH del suelo, prefiriendo un rango de 5,8 a 6,5 en áreas húmedas y de 6,0 a 7,5 en regiones semiáridas; aunque no hay un pH óptimo definido, se prefiere generalmente un suelo ligeramente ácido, con un pH entre 5,6 y 6,2 (Ruiz, 2013).

#### **c. Agua.**

Es esencial distribuir adecuadamente la humedad del suelo durante todo el ciclo del cultivo de frijol, especialmente durante la floración y la fructificación, donde la demanda de agua es crítica; durante la floración, se requiere atención especial al riego para evitar una reducción significativa del rendimiento, siendo recomendable regar al inicio y al final del período, con intervalos de 5-6 días entre riegos (Ruiz, 2013).

#### **d. Fotoperiodo.**

En el cultivo de frijol, los pigmentos de clorofila captan el 50 % de la energía solar, con una eficiencia de conversión máxima del 12 %, aunque puede reducirse por la menor intensidad de luz dentro del follaje; siendo una especie de días cortos, los días largos retrasan su floración y maduración; la radiación solar ayuda a reducir el aborto de flores y aumentar la retención de vainas, siendo crucial desde la emergencia hasta la floración para un mayor número de vainas; las regiones ideales tienen una radiación solar de 13-22 MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> (Dávila, 2021).

### **2.2.7. *Fertilización biológica.***

Según Riobo (2022) se refiere a compuestos formulados con microorganismos vivos que se aplican al suelo, a las semillas o a las plantas. Para Reynoso et al. (2022) estas sustancias establecen una relación simbiótica con las raíces de las leguminosas, permitiendo a las plantas acceder de manera más efectiva a los nutrientes.

La tabla 4 menciona algunos de los microorganismos (bacterias y hongos) más comunes utilizados para la fijación de nitrógeno, la movilización y solubilización de fosfato, así como la movilización de zinc y potasio.

**Tabla 1**

*Microorganismos fijadores de nitrógeno.*

| <b>Fijadores de Nitrógeno</b> | <b>Microrganismos solubilizadores de fosforo</b> | <b>Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal</b> | <b>Movilizadoras de fosfato (micorrizas)</b> | <b>Movilizadores de zinc y potasio</b> |
|-------------------------------|--|--|--|--|
| <b>Vida libre:</b>            | <i>Trichoderma</i> sp.                           | <i>Azotobacter</i> <i>Bacillus</i>                     | <i>Glomus</i> sp.                            | <b>Zinc:</b>                           |
| <i>Achromobacter</i>          | <i>Paecilomyces</i> sp.                          | <i>Agrobacterium</i>                                   | <i>Entrophospora</i> sp.                     | <i>Pseudomonas</i>                     |
| <i>Alcaligenes</i>            | <i>Bacillus</i> circulans                        | <i>Erwinia</i> <i>Alcaligenes</i>                      | <i>Acaulospora</i> sp.                       | spp. <i>Bacillus</i>                   |
| <i>Arthrobacter</i>           | <i>Bacillus</i>                                  | <i>Arthrobacter</i>                                    | <i>Escutellaspara</i> sp                     | spp. <i>Rhizobium</i>                  |
| <i>Azotobacter</i>            | coagulans  | <i>Pseudomonas</i>                                     |  | sp.                                    |
| <i>Azospirillum</i>           | <i>Torulospora</i>                               | <i>Rhizobium</i>                                       |  |  |
|                               | globasa  | <i>Streptomyces</i>                                    |  | <b>Potasio:</b>                        |
| <b>Simbióticos:</b>           | <i>Pseudomonas</i>                               | <i>Xanthomonas</i>                                     |  | <i>Bacillus</i> spp.                   |
| <i>Rhizobium</i> sp.          | <i>fluorescens</i>                               |  |  | <i>Pseudomonas</i>                     |
| <i>Bradyrhizobium</i> sp.     | <i>Thiobacillus</i>                              |  |  | spp                                    |
| <i>Azolla</i>                 | (SOM)  |  |  |  |

Fuente. Adaptado de Afanador (2017).

#### **a. Benéficos de la fertilización biológica**

Las bacterias benéficas tienen efecto en el crecimiento y desarrollo de las plantas; sus estrategias directas de estimulación del crecimiento se centran en mejorar la absorción de nutrientes y en la producción o regulación de hormonas vegetales que afectan los procesos indirectos de los promotores del crecimiento vegetal; además, poseen varios sistemas para prevenir o controlar enfermedades en las plantas (Cruz et al., 2020).

#### **2.2.8. Principales bacterias fijadoras de nitrógeno**

##### **a. *Azotobacter*.**

*Azotobacter* es uno de los géneros de bacterias fijadoras de nitrógeno más comunes en los suelos; durante su ciclo vegetativo, presenta tres formas diferenciadas: células jóvenes, bacilos móviles y células adultas de forma esférica, que pueden ser grandes o pequeñas; a

medida que envejecen, estas bacterias adoptan una forma enquistada, desarrollando células cocoides de mayor tamaño; además de su capacidad para fijar nitrógeno, estas bacterias también producen fitohormonas, lo que ha despertado un creciente interés en su uso para la elaboración de biofertilizantes (Nava et al., 2017).

Este género es conocido por su capacidad de fijación simbiótica de nitrógeno; su nombre proviene de la combinación de "bacter", del griego para bacilo, y "azoto", del francés para nitrógeno; las bacterias *Azotobacter* son ampliamente utilizadas en la agricultura global debido a su habilidad para fijar hasta el 50 % del nitrógeno de las plantas, promoviendo así su desarrollo (Ibarra et al., 2021).

#### **b. *Azospirillum*.**

Son microorganismos de vida libre que promueven el crecimiento de las plantas mediante la fijación de nitrógeno y la producción de fitohormonas, poliaminas y trehalosa; el *Azospirillum* emplea varios mecanismos de acción, cuya importancia varía según el suelo, el clima y la solubilización de minerales como hierro y fósforo, lo que resulta en plantas más grandes y productivas (Cruz et al, 2020).

*Azospirillum* es un género de bacterias heterótrofas, Gram negativas o de tinción variable, que se localizan principalmente en la rizosfera de las plantas, favoreciendo el intercambio de nutrientes; estas bacterias están ampliamente distribuidas en diversos ecosistemas, y actualmente se han registrado 16 especies con diferencias filogenéticas en la base de datos GenBank; una de sus principales funciones es la producción de ácidos orgánicos, los cuales contribuyen a la solubilización de minerales del suelo, especialmente del fósforo, incrementando así su disponibilidad para las plantas (Nava et al., 2017).

#### **c. *Rhizobium***

En el contexto de las leguminosas, los rizobios son bacterias que pueden fijar el nitrógeno atmosférico, lo que beneficia el desarrollo de las plantas; esta fijación ocurre mediante la formación de nódulos en las raíces de las plantas (Biofertilizantes, 2021). La simbiosis entre rizobios y leguminosas es una relación mutualista de tipo endosimbiótico, en la cual la planta proporciona a las bacterias nutrientes y un ambiente adecuado, los llamados nódulos, donde estas pueden llevar a cabo la fijación biológica de nitrógeno; a cambio, la planta

aprovecha el amonio producido por este proceso para cubrir sus necesidades de nitrógeno (Paredes, 2013).

Las bacterias de los géneros *Rhizobium* (incluyendo *Khizobium*, *Sinorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Azorhizobium* y *Aliorhizobium*) son las principales responsables de la fijación biológica del nitrógeno en simbiosis con plantas leguminosas; esta simbiosis es especialmente eficiente, entre 10 y 20 veces más que la fijación realizada por diazótrofos libres, gracias a las condiciones ideales dentro del nódulo radicular, que es el órgano especializado para esta función (Biofertilizantes, 2021)..

### **2.2.9. El nitrógeno atmosférico.**

El nitrógeno es abundante en el medio ambiente, pero las plantas no pueden asimilarlo directamente; lo absorben del suelo en forma de nitratos o amonio mediante la actividad fotosintética, la fijación biológica de nitrógeno es crucial en la biosfera, ya que los microorganismos que poseen la enzima nitrogenasa transforman el nitrógeno gaseoso del aire en formas combinadas necesarias para las plantas (Martínez, 2019).

### **2.2.10. Fijación biológica de nitrógeno.**

Hoy en día, la fijación biológica del nitrógeno está sustituyendo a los fertilizantes químicos comerciales, evitando la pérdida de fertilidad del suelo debido a la escasez de este elemento. Las bacterias del suelo que se encuentran en las raíces de las plantas leguminosas llevan a cabo los procesos de nitrificación, suministrando así el nitrógeno necesario para su crecimiento (Rojas, 2018).

### **2.2.11. Simbiosis leguminosa.**

Hoy en día, la fijación biológica del nitrógeno está sustituyendo a los fertilizantes químicos comerciales, evitando la pérdida de fertilidad del suelo debido a la escasez de este elemento. Las bacterias del suelo que se encuentran en las raíces de las plantas leguminosas llevan a cabo los procesos de nitrificación, suministrando así el nitrógeno necesario para su crecimiento (Goicochea, 2019). Para Guamán (2020), Durante la fotosíntesis, se establece una asociación específica entre la planta y la bacteria, que implica un intercambio de señales químicas para facilitar el reconocimiento y la colonización de la leguminosa por parte de las bacterias fijadoras de nitrógeno. Tras la colonización, se produce la proliferación y fijación del nitrógeno mediante ciertas estructuras de la planta.

La simbiosis entre rizobios y frijol comienza cuando las raíces liberan flavonoides que activan la proteína NodD (Determinante de nodulación D) en las bacterias. Esto induce la expresión de los genes *Nod*, que producen los factores Nod, moléculas esenciales para formar los nódulos donde se fija el nitrógeno, estableciendo así la relación simbiótica (Paredes, 2013).

La simbiosis entre rizobios y frijol continúa cuando los factores Nod (NFs), liberados por las bacterias, son reconocidos por receptores específicos en la raíz de la planta; esta interacción activa una cascada de señalización que incluye oscilaciones de calcio en el núcleo celular, esenciales para el desarrollo de la simbiosis; uno de los primeros efectos es la curvatura del pelo radical en forma de "cayado de pastor", que facilita la entrada de los rizobios mediante una estructura llamada *tubo de infección* (IT). Mientras los ITs avanzan hacia el córtex, las células corticales se transforman en células grandes y activas llamadas *células simbióticas*, las cuales forman los nódulos donde ocurrirá la fijación del N (Ayala, 2024).

#### **2.2.12. La nitrogenasa.**

La enzima encargada de transformar el nitrógeno atmosférico en amonio durante la simbiosis entre la leguminosa y las bacterias es el complejo enzimático llamado nitrogenasa. Este complejo está formado por dos enzimas: la dinitrogenasa y la dinitrogenasa reductasa. La dinitrogenasa reductasa transfiere electrones a la dinitrogenasa, que, junto con un cofactor de hierro y molibdeno, reduce el  $N^2$  a amonio mediante una serie de reacciones (Guamán, 2020). Torres (2017) se señala que, para que la reducción de la nitrogenasa ocurra, se requiere la ausencia de oxígeno, tanto en organismos aeróbicos como anaeróbicos, ya que este gas desactiva la nitrogenasa.

#### **2.2.13. Leghemoglobina.**

Es una proteína sintetizada por las plantas leguminosas que se combina con el oxígeno mediante un grupo hemo, y desempeña un papel crucial en la simbiosis entre bacterias y plantas para la fijación de nitrógeno (Cuadrado et al., 2019).

### **2.3. Definición de términos**

#### **Biofertilizante**

Son productos derivados de procesos biológicos que proporcionan soluciones sostenibles para mejorar las buenas prácticas agrícolas, promoviendo acciones más respetuosas con el medio ambiente (Lagler, 2017).

#### **Ecoamigable**

Costumbre que contribuye a la protección del medio ambiente (Rodríguez, 2020).

#### **Eutrofización**

Exceso de nutrientes, principalmente nitrógeno (N) y fósforo (P), introducidos en los ecosistemas acuáticos debido a la actividad humana, lo que causa una proliferación descontrolada de algas fitoplanctónicas y genera efectos negativos en los cuerpos de agua afectados (Juárez y Pereda, 2023).

#### **Fertilización biológica**

La utilización de microorganismos en la agricultura con el propósito de aumentar la eficacia en la utilización de nutrientes presenta diversos efectos beneficiosos, como la estimulación del crecimiento de las plantas, la fijación de nitrógeno, la solubilización de nutrientes, el control biológico de plagas y mejora la resistencia a enfermedades (Lagler, 2017).

#### **Lixiviación**

Proceso mediante el cual se separan uno o varios solutos de un sólido utilizando un disolvente líquido (Alfonso et al., 2014).

#### **Nitrificación**

Oxidación biológica del amonio en presencia de oxígeno para formar nitrito, seguida de la oxidación de estos nitritos para producir nitratos (Jiménez, 2010).

#### **Simbióticos**

Hace referencia a cualquier relación beneficiosa entre microorganismos y las raíces de las plantas (Talamantes, 2021).

## **CAPÍTULO III**

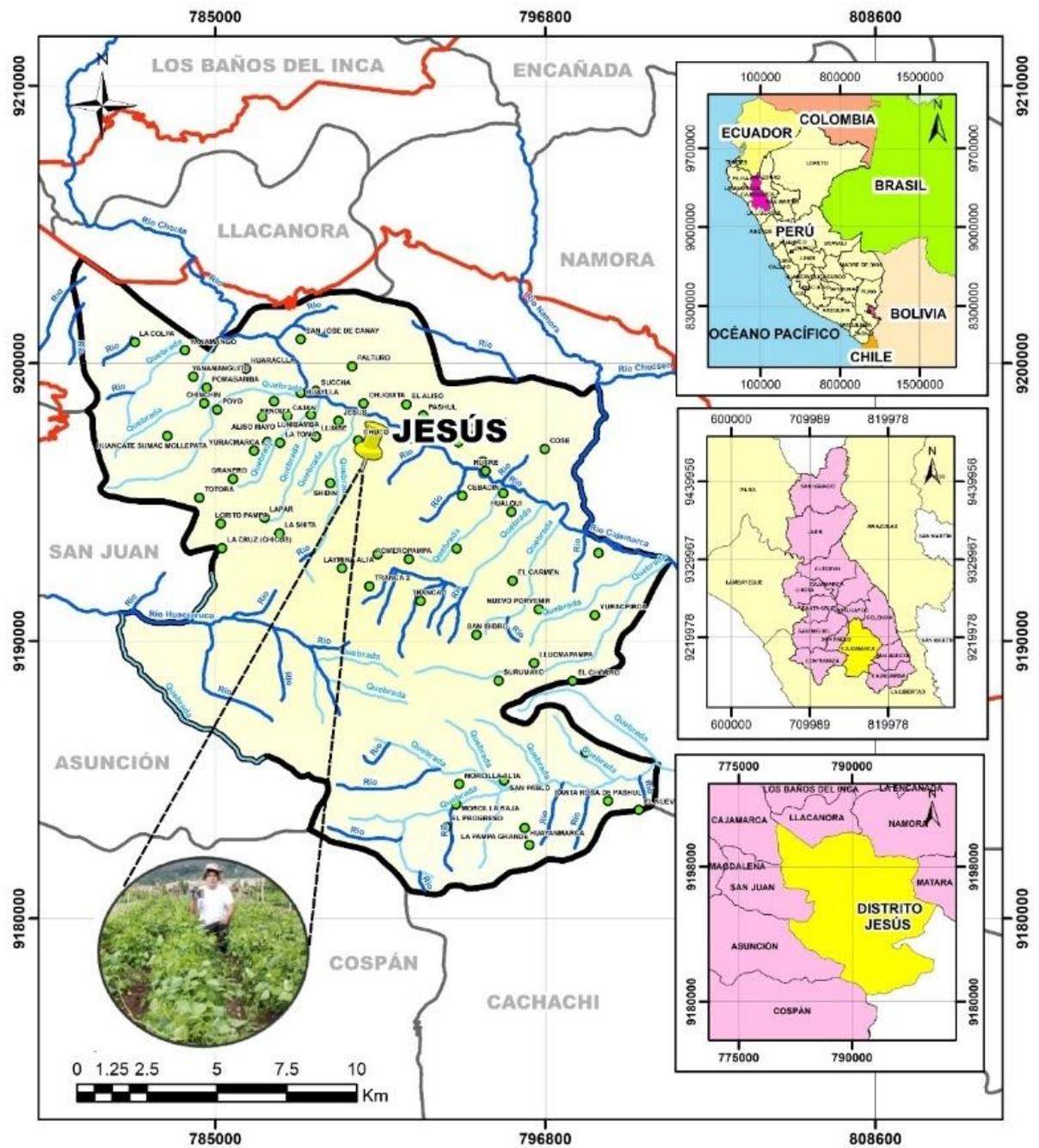
### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ubicación**

El sector Chuco, donde se llevó a cabo la investigación experimental, estuvo situado a 2 kilómetros de la zona urbana del distrito de Jesús, en la provincia y departamento de Cajamarca. Sus coordenadas UTM fueron 9196986 N y 790591 E, y se encuentra a una altitud de 2618 metros. Chuco presentó características agroclimáticas particulares, con un clima que varió de templado a frío y notables diferencias entre el día y la noche, lo que la convirtió en un lugar ideal para estudios experimentales.

**Figura 1**

*Ubicación del experimento.*



**LEYENDA**

- UBICACIÓN DEL PROYECTO SECTOR: CHUCO - JESÚS
- CP\_JESÚS
- HIDRO\_RÍO
- HIDRO\_QUEBRADAS
- RED\_VIAL\_NACIONAL
- DISTRITO\_DE\_JESÚS
- LIMITE\_DISTRIITAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

**TESIS**  
 "EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN BIOLÓGICA MIXTA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE FRÍJOL (*Phaseolus vulgaris*) EN JESÚS - CAJAMARCA, 2024"

MAPA: UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

|   |                      |              |
|---|----------------------|--------------|
| ELABORADO POR:<br>MARCOS LOLO CHACÓN CHÁVEZ | ESCALA:<br>1:150,000 | Nº<br>LÁMINA |
| ASISOR:<br>EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA      | FECHA:<br>MAYO 2025  | <b>01</b>    |

CORDENADAS UTM | EST. E: 790591 - NORTE. Y: 9196986

## **3.2. Materiales**

### **3.2.1. *Material vegetal***

Semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad Panamito.

### **3.2.2. *Materiales biológicos***

*Rhizobium* sp.

*Azotobacter* sp.

*Azospirillum* sp.

### **3.2.3. *Equipos***

Mochila de fumigar

Balanza digital

Laptop

Cámara fotográfica

### **3.2.4. *Herramientas***

Zapapico

Lampa

Comba

### **3.2.5. *Otros materiales experimentales***

Wincha

Rafia

Estacas

Letreros

Libreta de campo

## **3.3. Metodología**

### **3.3.1. *Variables***

#### **a. Variable independiente**

Fertilización biológica

## b. Variable dependiente

Rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad Panamito

### 3.3.2. Diseño experimental

Para evaluar el efecto de la fertilización biológica en el rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad panamito, se utilizó un diseño estadístico basado en la metodología del Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) simple; este diseño incluyó tres repeticiones (bloques), seis tratamientos y un grupo control (testigo) por repetición. El modelo estadístico correspondiente a este diseño fue el siguiente.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Son las observaciones obtenidas la  $j$ -ésima vez que se repite el experimento, con el tratamiento  $i$ ésimo.

$\mu$  = Media general

$T_i$  = Efecto del tratamiento  $i$

$B_j$  = Efecto del Bloqueo  $j$

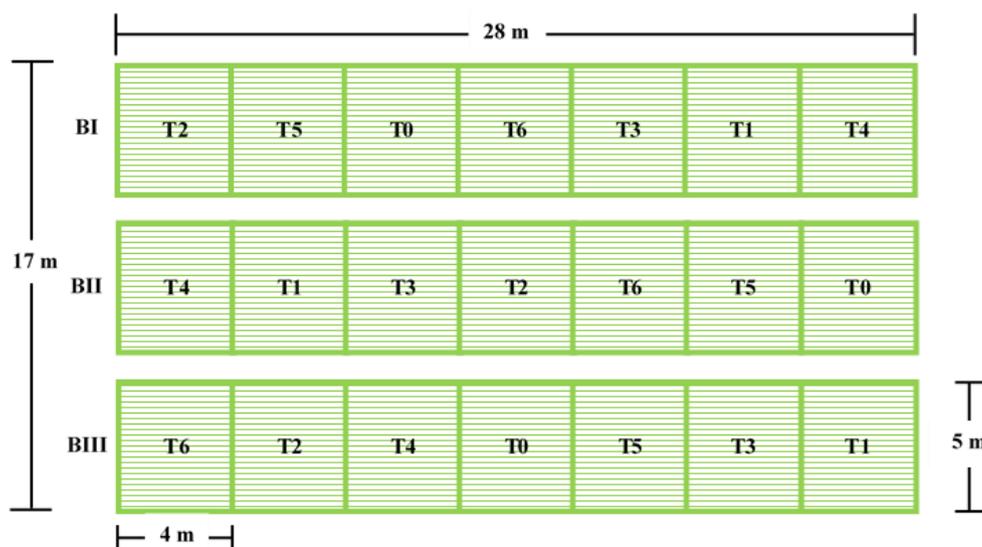
$E_{ij}$  = Efecto del error experimental que se presenta al efectuar la  $j$ -ésima observación del  $i$ -ésimo tratamiento.

### 3.3.3. Arreglos de los tratamientos

Los tratamientos consistieron en la inoculación de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad panamito con bacterias individuales del género *Rhizobium*, *Azotobacter* y *Azospirillum*, así como con sus combinaciones: *Rhizobium-Azotobacter*, *Rhizobium-Azospirillum* y *Rhizobium-Azotobacter-Azospirillum*. La asignación de estos tratamientos se llevó a cabo mediante aleatorización dentro de un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA).

**Tabla 2***Tratamientos en estudio.*

| Tratamiento | Clave | Descripción   |
|-------------|-------|---|
| 1           | T0    | Sin inoculación   |
| 2           | T1    | Inoculación con <i>Rhizobium</i>  |
| 3           | T2    | Inoculación con <i>Azotobacter</i>  |
| 4           | T3    | Inoculación con <i>Azospirillum</i>   |
| 5           | T4    | Inoculación con <i>Rhizobium</i> + <i>Azotobacter</i>                       |
| 6           | T5    | Inoculación con <i>Rhizobium</i> + <i>Azospirillum</i>                      |
| 7           | T6    | Inoculación con <i>Rhizobium</i> + <i>Azotobacter</i> - <i>Azospirillum</i> |

**Figura 2***Distribución de bloques y tratamientos en el campo experimental.*

### 3.3.4. Procedimientos

#### a. Análisis de suelo

El muestreo y análisis de suelo fueron pasos cruciales en la gestión agrícola; para muestrear, se dividió el campo en áreas homogéneas y se seleccionaron puntos al azar, tomando muestras a una profundidad adecuada y combinándolas para crear una muestra representativa; las muestras fueron etiquetadas y almacenadas antes de ser enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelos INIA-Baños del Inca. El análisis químico reveló información vital sobre el pH, la textura y la composición nutricional del suelo.

**Tabla 3**

*Resultado del Análisis del suelo del cultivo de frijol Panamito.*

| pH  | CE<br>(dS/m) | CaCO <sub>3</sub><br>(%) | M.O.<br>(%) | P<br>(ppm) | K<br>(ppm) | Análisis Mecánico |      |         | Clase<br>textural |
|-----|--------------|--------------------------|-------------|------------|------------|-------------------|------|---------|-------------------|
|     |              |                          |             |            |            | Arena             | Limo | Arcilla |                   |
| 7.6 | 15.00        | 10.1                     | 4.6         | 16.2       | 255.86     | 55                | 21   | 24      | Fr.A.             |

Según los resultados del análisis de suelos presentados en la tabla 3, el terreno donde se realizó el experimento posee una textura moderadamente fina, clasificada como franco arenoso. Presenta una reacción moderadamente alcalina, con un pH de 7.6, y no salino, ya que la conductividad eléctrica (C.E.) es de 15.00 dS/m. El contenido de carbonatos es alto, con un porcentaje de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) de 10.1%. Además, el suelo tiene un nivel alto de materia orgánica (4.6 %), fósforo disponible alto (16.2 ppm) y nivel alto de potasio disponible (255.86 ppm).

#### **b. Preparación de terreno**

Se procedió a limpiar el terreno, retirando malezas, residuos de cultivos anteriores y otros obstáculos; luego, se utilizó yunta para labrar el suelo a una profundidad de 30 a 40 cm, rompiendo terrones y aireando el suelo, ya que la planta tiene una raíz principal que se extiende hacia abajo, por lo que fue necesario hacer una labor profunda.

#### **c. Distribución de tratamientos**

La distribución de tratamientos en el experimento fue un proceso crucial que requirió una planificación cuidadosa y una ejecución precisa. Antes de la distribución, se aseguró tener un diseño experimental claro y bien definido, determinando y asignando aleatoriamente los tratamientos a estudiar. Luego se marcó la disposición utilizando un cordel, estacas, cinta métrica y cal; posteriormente, los tratamientos se distribuyeron en el terreno siguiendo un Diseño Experimental de Bloques Completamente Aleatorizados (DBCA); cada unidad experimental abarcó un área de 20 m<sup>2</sup> (4 x 5 m), dando un total de 140 m<sup>2</sup> por repetición y 420 m<sup>2</sup> en total para las tres repeticiones, sin contar con los pasillos entre bloques.

#### **d. Surcado**

Para realizar el surcado se marcaron los puntos de inicio y finalización de cada surco con una cinta métrica, luego se trazaron los surcos con zapapico con una separación de 80 cm y 10 cm de profundidad; se colocaron estacas en cada punto para asegurar que el surco estuviera

alineado correctamente, utilizando un cordel como guía; después, se abrieron los surcos a lo largo de la cuerda con la ayuda de un zapapico.

#### **e. Inoculación de semillas**

La inoculación de semillas se realizó según los tratamientos definidos en el estudio. Para bacterias individuales como *Rhizobium*, *Azotobacter* y *Azospirillum*, se emplearon 24 g de inoculante por cada kilogramo de semilla. En combinaciones de dos bacterias (*Rhizobium-Azotobacter* o *Rhizobium-Azospirillum*), se usaron 12 g de cada una, y para la combinación de tres bacterias (*Rhizobium-Azotobacter-Azospirillum*), 8 g de cada una por kilogramo. Previo a la inoculación, las semillas se desinfectaron con etanol al 1 % y cloro al 10 %, sumergiéndolas durante 3 y 4 minutos respectivamente, y luego se enjuagaron con agua corriente. Posteriormente, se preparó una solución de 600 ml de melaza en 250 ml de agua caliente, la cual sirvió para rociar las semillas antes de aplicar el inoculante, asegurando una cobertura uniforme. Finalmente, las semillas se dejaron secar a la sombra.

#### **f. Siembra**

La siembra se llevó a cabo manualmente dos horas después de haber inoculado las semillas, colocando de dos a tres semillas por hoyo, con una separación de 30 cm entre plantas; para asegurar la supervivencia de las bacterias, la siembra se realizó en la mañana, a una profundidad de tres veces el tamaño de las semillas.

#### **g. Control de arvenses**

Los arvenses se eliminaron de forma manual utilizando lampa; esta actividad se realizó oportunamente en las primeras fases fenológicas de desarrollo de la planta, a una altura promedio de 15 centímetros con el fin de evitar la competencia por espacio, nutrientes, luz y agua; además se evitó la presencia de plagas y enfermedades que se hospedaran en la maleza.

#### **h. Control de plagas**

Para el control de plagas, se priorizaron las medidas preventivas en ausencia de plagas. Sin embargo, cuando se detectó una plaga, se realizó un control correctivo después de una evaluación para identificar el insecto o fitopatógeno; una vez identificada la plaga y su incidencia, se adquirió un producto químico con el ingrediente activo específico para combatirla.

#### **i. Riego**

El suministro de agua necesario para el cultivo se realizó mediante un sistema de riego presurizado por aspersión; los riegos se efectuaron cada 15 días, dando prioridad a las etapas de floración y llenado de vainas, durante las cuales se regó cada 8 días.

#### **j. Cosecha**

La cosecha se efectuó cuando las vainas estuvieron verdes; para determinar el momento óptimo, se evaluó el tamaño de las vainas, el tamaño y apariencia de los granos, y en menor medida, la cantidad de vainas aptas para la cosecha; además, al abrir una vaina, el color del hilio comenzó a perder su verdor y el funículo se desprendió del grano con facilidad.

### **3.3.5. Evaluaciones**

#### **a. Altura planta de frijol Panamito**

Para evaluar la altura de las plantas de frijol Panamito, se seleccionaron aleatoriamente 10 plantas de cada unidad experimental. Utilizando una cinta métrica, se midió cada planta desde la base del cuello hasta el ápice del tallo principal, registrando las alturas obtenidas. Luego, se sumaron todas las alturas registradas y se calculó el promedio dividiendo la suma total de las alturas por el número de plantas medidas.

#### **b. Número de vainas por planta de frijol Panamito**

Para evaluar el número de vainas por planta de frijol cario, se seleccionaron aleatoriamente 10 plantas de cada unidad experimental; se contó el total de vainas en cada planta seleccionada, sin excluir ninguna por tamaño o daño, y se registró el número de vainas por planta; luego, se sumó el total de vainas contadas y se calculó el promedio dividiendo esta suma por el número de plantas evaluadas.

#### **c. Peso de vainas por planta de frijol Panamito**

Para evaluar el peso de las vainas por planta de frijol Panamito, se seleccionaron 10 plantas de cada unidad experimental; se cortaron todas las vainas de cada planta, asegurándose de separarlas completamente del tallo; luego, se pesaron las vainas utilizando una balanza digital y se registró el peso total; este proceso se repitió para todas las plantas seleccionadas; finalmente, se calculó el promedio del peso de las vainas por planta, sumando los pesos individuales y dividiendo el resultado por el número de plantas evaluadas.

#### **d. Rendimiento de frijol Panamito verde en kg ha<sup>-1</sup>**

Para evaluar el rendimiento de frijol Panamito verde en kg ha<sup>-1</sup>, se calculó el número de plantas por hectárea, que estuvo en función del distanciamiento entre surcos (0,80) y entre golpes (0,30); para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad de siembra} = \frac{\text{Area Total}}{ds*dp}$$

Donde:

ds : Distancia entre surcos

dp : Distancia entre plantas

Para la presente investigación se obtuvo una densidad de plantas de 41667.

Una vez determinada la densidad de siembra, se multiplicó el peso promedio de las vainas por planta de cada tratamiento y bloque por el número de plantas por hectárea. Los resultados se expresaron en kilogramos por hectárea.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Número de vainas de frijol Panamito

**Tabla 4**

*Análisis de varianza para el número de vainas.*

| <b>Fuentes de variación</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Grados de libertad</b> | <b>Cuadrado medio</b> | <b>F Calculado</b> | <b>p-valor</b> |
|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|----------------|
| Bloques                     | 2.19                     | 2                         | 1.09                  | 0.07               | 0.9283         |
| Tratamientos                | 1304.26                  | 6                         | 217.38                | 14.87              | 0.0001         |
| Error                       | 175.48                   | 12                        | 14.62                 |                    |                |
| Total                       | 1481.93                  | 20                        |                       |                    |                |

CV = 9.55 %

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable número de vainas por planta muestra que no se obtuvo un efecto significativo atribuible a los bloques o repeticiones, dado que, el valor de p obtenido (0.9283) fue mayor al 0.05, lo que indica que la variabilidad entre las repeticiones no influyó de manera relevante en el número de vainas por planta.

Por otro lado, el valor de p asociado a los tratamientos (0.0001) fue notablemente inferior al 0.05, evidenciando que al menos uno de los tratamientos con biofertilizantes produjo un efecto diferenciado en el rendimiento del cultivo en términos de vainas por planta. Este resultado indica que la aplicación de inoculantes microbianos, ya sea en forma individual o combinada, influye en el número de vainas por planta.

El coeficiente de variación es de 9.55 %, el cual es adecuado para el experimento desarrollado, además indica la variación del número de vainas obtenidos dentro de cada tratamiento.

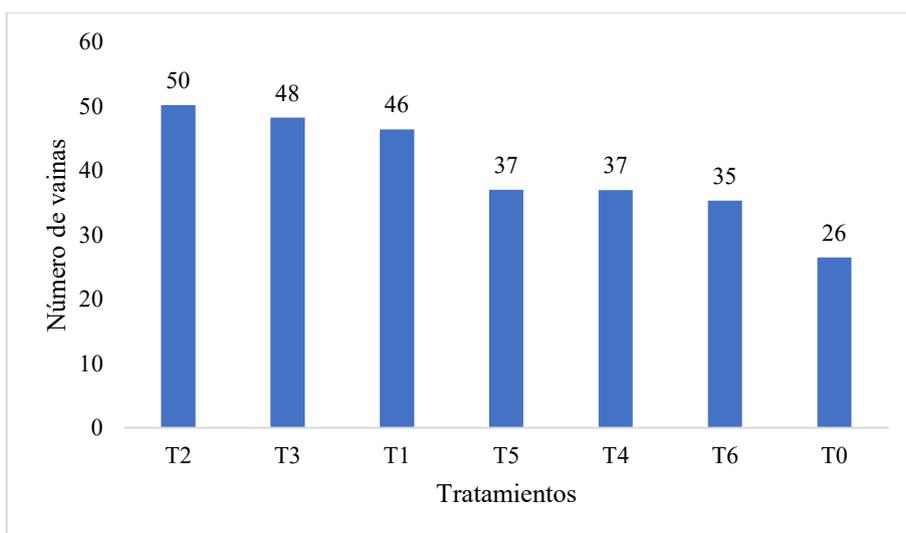
**Tabla 5**

*Prueba de Tukey para el número de vainas.*

| Tratamientos | Número de vainas | Agrupación |
|--------------|------------------|------------|
| T2           | 50               | A          |
| T3           | 48               | A          |
| T1           | 46               | AB         |
| T5           | 37               | BC         |
| T4           | 37               | BC         |
| T6           | 35               | C          |
| T0           | 26               | C          |

**Figura 3**

*Número de vainas por planta.*



La prueba de Tukey para el número de vainas por planta (Tabla 4 y Figura 2) indica que, los tratamientos T2 (*Azotobacter*) y T3 (*Azospirillum*), con medias de 50 y 48 vainas por planta respectivamente, compartieron la letra A, lo que indica que no existieron diferencias significativas entre ellos y que ambos superaron al testigo (T0). Estos resultados indican que la aplicación individual de *Azotobacter* o *Azospirillum* tuvo un efecto positivo y equivalente en la promoción del número de vainas. Por su parte, el tratamiento T1 (*Rhizobium*), con una media de 46 vainas, se ubicó en el grupo AB, reflejando una tendencia favorable, aunque con cierta

superposición estadística tanto con los tratamientos superiores (A) como con los inferiores (BC), lo que podría indicar una respuesta menos consistente en comparación con T2 y T3.

Los tratamientos combinados T5 (*Rhizobium* + *Azospirillum*) y T4 (*Rhizobium* + *Azotobacter*), con medias cercanas a 37 vainas, se agruparon bajo la letra BC, mostrando un rendimiento intermedio que, si bien fue superior al testigo, no alcanzó la eficacia de los tratamientos individuales T2 y T3. Este resultado indica que las combinaciones microbianas no generaron un efecto sinérgico en esta variable, e incluso podrían haber diluido el impacto observado en las aplicaciones individuales. Finalmente, el tratamiento T6 (*Rhizobium* + *Azotobacter* + *Azospirillum*) y el testigo T0 compartieron la letra C, con medias de 35.3 y 26.47 vainas respectivamente, evidenciando que la triple combinación no mejoró significativamente el número de vainas en comparación con el control sin inoculación.

Los resultados encontrados coinciden con lo expuesto por Mero (2021), quien reportó que la inoculación con *Azotobacter* incrementó significativamente el número de vainas en maní. De igual forma, Bautista (2024) encontró efectos positivos de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento y rendimiento del maíz. Sin embargo, se observa una discrepancia con lo hallado por Medina et al. (2023), quien identificó una mayor producción de vainas en el tratamiento combinado de micorrizas con *Rhizobium*, lo cual no fue confirmado en el presente estudio, donde las combinaciones microbianas (T4, T5, T6) no generaron un efecto sinérgico, y en el caso del tratamiento T6, su rendimiento fue estadísticamente similar al testigo.

La respuesta positiva a los tratamientos individuales se explica por la capacidad de *Azotobacter* de fijar nitrógeno atmosférico en vida libre (Ibarra et al., 2021), y por la producción de fitohormonas y solubilización de minerales como fósforo por parte de *Azospirillum* (Cruz et al., 2020). No obstante, cuando se combinan múltiples cepas, puede generarse competencia microbiana o antagonismo, limitando su acción conjunta (Reynoso et al., 2022).

La ausencia de efectos aditivos en las combinaciones representa una limitación, sugiriendo que la compatibilidad entre microorganismos debe evaluarse antes de su formulación conjunta. No obstante, se destaca la utilidad práctica de aplicar inoculantes específicos para mejorar la formación de vainas en frijol Panamito, lo cual contribuye directamente al rendimiento del cultivo.

## 4.2. Peso de vainas de frijol Panamito

**Tabla 6**

*Análisis de varianza para el peso de vainas.*

| <b>Fuentes de variación</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Grados de libertad</b> | <b>Cuadrado medio</b> | <b>F Calculado</b> | <b>p-valor</b> |
|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|----------------|
| Bloques                     | 0.00040                  | 2                         | 0.00020               | 0.31520            | 0.740          |
| Tratamientos                | 0.11210                  | 6                         | 0.01870               | 27.71180           | <0.0001        |
| Error                       | 0.00810                  | 12                        | 0.00070               |                    |                |
| Total                       | 0.12070                  | 20                        |                       |                    |                |

CV = 9.93 %

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable peso de vaina revela que no existe un efecto significativo atribuible a los bloques o repeticiones, dado que el valor de p obtenido (0.740) supera ampliamente el nivel de significancia establecido ( $\alpha = 0.05$ ). Esto confirma que la variabilidad entre repeticiones no influyó de manera significativa en el peso de vaina.

Por otro lado, el valor de p asociado a los tratamientos (<0.0001) demuestra una diferencia significativa entre al menos uno de los esquemas de inoculación microbiana evaluados, lo que indica que la aplicación de biofertilizantes ya sea en forma individual o combinada, afecta significativamente al peso de vainas.

El coeficiente de variación es de 9.93 %, el cual es adecuado para el experimento desarrollado, además indica la variación del peso de vainas obtenidos dentro de cada tratamiento.

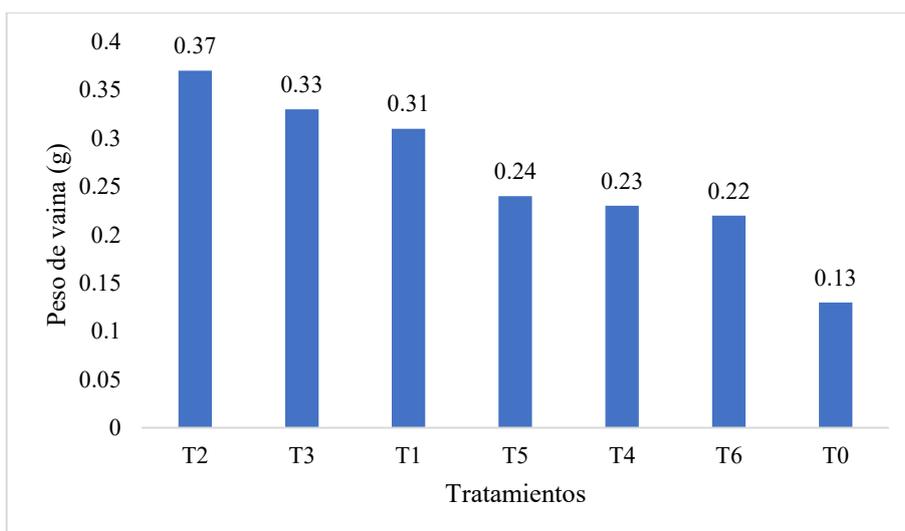
**Tabla 7**

*Prueba de Tukey para el peso de vainas.*

| Tratamientos | Peso de vaina (g) | Agrupación |
|--------------|-------------------|------------|
| T2           | 0.37              | A          |
| T3           | 0.33              | A          |
| T1           | 0.31              | A          |
| T5           | 0.24              | B          |
| T4           | 0.23              | B          |
| T6           | 0.22              | B          |
| T0           | 0.13              | C          |

**Figura 4**

*Peso de vainas por planta.*



La prueba de Tukey para el peso de vaina (Tabla 6 y Figura 3) permitió identificar tres grupos estadísticamente diferenciados. Los tratamientos T2 (*Azotobacter*), T3 (*Azospirillum*) y T1 (*Rhizobium*), con medias de 0.37, 0.33 y 0.31 g respectivamente, compartieron la letra A, lo que evidencia que no hubo diferencias significativas entre ellos y que todos superaron de manera marcada al testigo (T0). Este resultado indica que la aplicación individual de cualquiera de estos tres microorganismos promueve un incremento significativo en el peso de vaina, destacando su eficacia como alternativas independientes.

Los tratamientos combinados T5 (*Rhizobium* + *Azospirillum*), T4 (*Rhizobium* + *Azotobacter*) y T6 (*Rhizobium* + *Azotobacter* + *Azospirillum*), con medias entre 0.22 y 0.24 g, se agruparon bajo la letra B, mostrando un desempeño intermedio que, si bien fue superior al testigo, resultó significativamente menor que el de los tratamientos individuales. Este resultado refuerza la hipótesis de que las combinaciones microbianas no generan un efecto aditivo o sinérgico en el peso de vaina, sino que, por el contrario, podrían limitar la eficacia observada en las aplicaciones individuales. Finalmente, el testigo T0 (0.13 g) se ubicó en el grupo C, indicando que la ausencia de inoculación microbiana produce los valores más bajos.

Los resultados obtenidos son consistentes con lo reportado por Rivera (2023), quien encontró que el tratamiento con *Rhizobium* más fertilización nitrogenada produjo vainas de mayor longitud y más granos por vaina, lo que se relaciona directamente con su peso. Asimismo, los hallazgos se respaldan teóricamente en la función de las rizobacterias en mejorar la disponibilidad de nutrientes y estimular procesos fisiológicos que favorecen el llenado de vainas (Rojas, 2018; Cruz et al., 2020).

El hecho de que las combinaciones microbianas no hayan generado mayor peso puede deberse a una posible competencia por el nicho ecológico en la rizosfera o a una saturación de señales bioquímicas, como plantea Goicochea (2019). Esta observación plantea un reto para la formulación de consorcios microbianos y sugiere la necesidad de realizar estudios de compatibilidad entre cepas. En consecuencia, el uso individual de biofertilizantes puede ser una estrategia más eficiente para mejorar el peso de las vainas en frijol Panamito, aspecto fundamental para la calidad comercial del producto.

### 4.3. Rendimiento de frijol Panamito

**Tabla 8**

*Análisis de varianza para el rendimiento de frijol Panamito.*

| <b>Fuentes de variación</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Grados de libertad</b> | <b>Cuadrado medio</b> | <b>F Calculado</b> | <b>p-valor</b> |
|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|----------------|
| Bloques                     | 738039.8                 | 2                         | 369019.9              | 0.32               | 0.7355         |
| Tratamientos                | 194690755.4              | 6                         | 32448459              | 27.71              | <0.0001        |
| Error                       | 14051107.97              | 12                        | 1170925.7             |                    |                |
| Total                       | 209479903.2              | 20                        |                       |                    |                |

CV = 9.93 %

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable rendimiento del cultivo de frijol Panamito mostró que no existe significativo atribuible a los bloques o repeticiones, dado que el valor de p obtenido (0.7355) superó ampliamente el nivel de significancia establecido ( $\alpha = 0.05$ ). Esto confirma que la variabilidad entre repeticiones no influyó de manera relevante en el rendimiento del cultivo. Por otro lado, el valor de p asociado a los tratamientos (<0.0001) fue altamente significativo, evidenciando que al menos uno de los tratamientos de biofertilización generó un impacto diferenciado en el rendimiento del frijol Panamito. Este resultado indica que la aplicación de inoculantes microbianos, ya sea en forma individual o combinada, influye significativamente en la productividad del cultivo de frijol Panamito.

El coeficiente de variación es de 9.93 %, el cual es adecuado para el experimento desarrollado, además indica la variación del rendimiento obtenidos dentro de cada tratamiento.

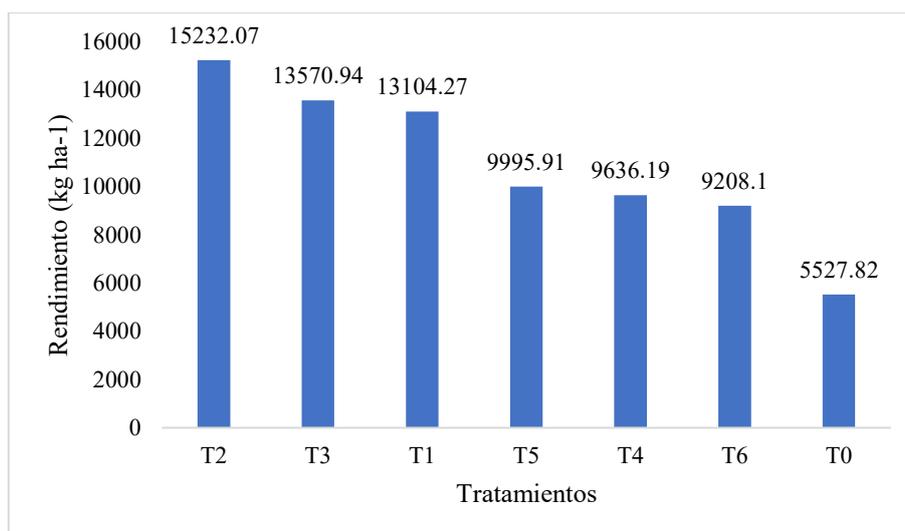
**Tabla 9**

Prueba de Tukey para el rendimiento de frijol.

| Tratamientos | Rendimiento<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | Agrupación |
|--------------|---------------------------------------|------------|
| T2           | 15232.07                              | A          |
| T3           | 13570.94                              | A          |
| T1           | 13104.27                              | A          |
| T5           | 9995.91                               | B          |
| T4           | 9636.19                               | B          |
| T6           | 9208.1                                | B          |
| T0           | 5527.82                               | C          |

**Figura 5**

Rendimiento de frijol Panamito.



La prueba de Tukey (Tabla 8 y Figura 4) muestra que los tratamientos T2 (*Azotobacter*), T3 (*Azospirillum*) y T1 (*Rhizobium*), con medias de 15232.07, 13570.94 y 13104.27 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, compartieron la letra A, lo que indica que no hubo diferencias significativas entre ellos y que todos superaron de manera significativa al testigo (T0). Estos resultados demuestran que la aplicación individual de *Azotobacter*, *Azospirillum* o *Rhizobium* incrementó el rendimiento entre un 137 % y 176 % en comparación con el control sin inoculación, destacando su eficacia como alternativas fertilización. Entre estos tratamientos, *Azotobacter* (T2) mostró el mayor rendimiento promedio, aunque sin diferencias estadísticas con los demás tratamientos individuales.

Los tratamientos combinados T5 (*Rhizobium* + *Azospirillum*), T4 (*Rhizobium* + *Azotobacter*) y T6 (*Rhizobium* + *Azotobacter* + *Azospirillum*), con medias entre 9,208.10 y 9995.91 kg ha<sup>-1</sup>, se agruparon bajo la letra B, mostrando un rendimiento intermedio que, si bien fue significativamente superior al testigo (81% a 111% más que T0), resultó inferior al de los tratamientos individuales. Este resultado indica que las combinaciones microbianas no generaron un efecto sinérgico en el rendimiento del cultivo, e incluso podrían haber limitado la eficacia observada en las aplicaciones individuales. Finalmente, el testigo T0 (5527.82 kg ha<sup>-1</sup>) se ubicó en el grupo C, confirmando que la ausencia de inoculación microbiana produjo los valores más bajos de rendimiento.

Los resultados obtenidos concuerdan con los obtenidos por Lonazco (2022), quien observó aumentos en el rendimiento del tarwi con la aplicación de *Bradyrhizobium* y *Azospirillum*, aunque en ese caso la combinación sí resultó efectiva. Las diferencias pueden explicarse por variaciones en los ecotipos utilizados, condiciones edafoclimáticas o formulación del inoculante. Igualmente, Ayvar et al. (2020) también reportó que el manejo biológico en frijol ejotero mejora significativamente el rendimiento, aunque no siempre más que los tratamientos combinados con fertilización química.

Desde el punto de vista fisiológico, este incremento en el rendimiento puede atribuirse a la mejora en la nutrición nitrogenada por fijación biológica, así como al aumento en la eficiencia fotosintética y el desarrollo radicular (Reynoso et al., 2022; Martínez, 2019). Además, el uso de bacterias como *Azotobacter* y *Rhizobium* favorece la disponibilidad de nitratos y amonio, fundamentales para la formación de semillas (Cruz et al., 2020). La principal implicancia de este resultado es que los biofertilizantes microbianos pueden constituirse en alternativas viables, sostenibles y económicas a los fertilizantes sintéticos. No obstante, la falta de efecto sinérgico entre combinaciones representa una limitación que debe abordarse en investigaciones futuras.

#### 4.4. Altura de planta de frijol Panamito

**Tabla 10**

*Análisis de varianza para la altura de planta.*

| <b>Fuentes de variación</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Grados de libertad</b> | <b>Cuadrado medio</b> | <b>F Calculado</b> | <b>p-valor</b> |
|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|----------------|
| Bloques                     | 6.57                     | 2                         | 3.29                  | 0.3                | 0.7441         |
| Tratamientos                | 288.99                   | 6                         | 48.17                 | 4.44               | 0.0136         |
| Error                       | 130.15                   | 12                        | 10.85                 |                    |                |
| Total                       | 425.71                   | 20                        |                       |                    |                |

CV = 8.29 %

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable altura de planta reveló que no existe un efecto significativo atribuible a los bloques, dado que el valor de p obtenido (0.7441) superó al 0.05. Esto indica que la variabilidad entre repeticiones no influyó de manera relevante en la altura de las plantas. Por otro lado, el valor de p asociado a los tratamientos (0.0136) fue inferior a 0.05, lo que demuestra que al menos uno de los tratamientos de biofertilización generó un efecto diferenciado en el crecimiento vertical del cultivo.

El coeficiente de variación es de 8.29 %, el cual es adecuado para el experimento desarrollado, además indica la variación de la altura de planta obtenidos dentro de cada tratamiento.

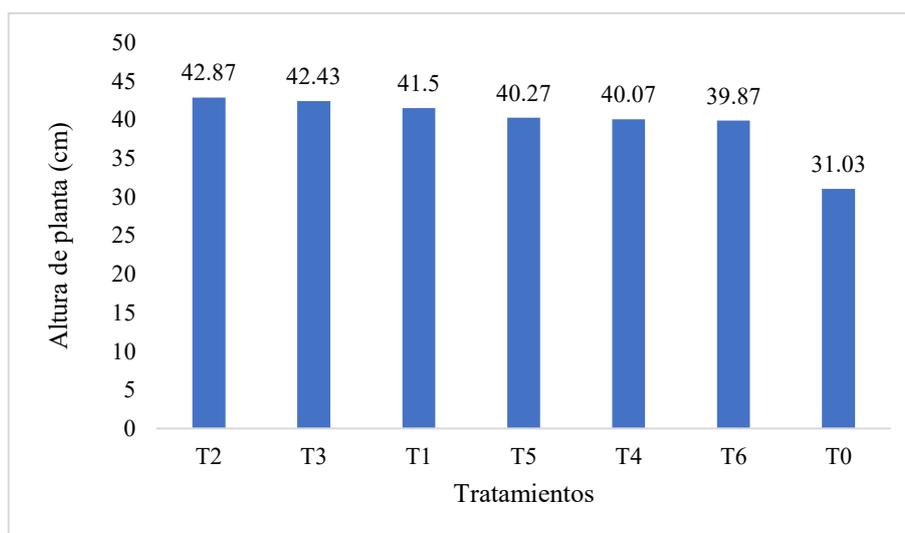
**Tabla 11**

*Prueba de Tukey para la altura de planta.*

| Tratamientos | Altura de planta (cm) | Agrupación |
|--------------|-----------------------|------------|
| T2           | 42.87                 | A          |
| T3           | 42.43                 | A          |
| T1           | 41.5                  | A          |
| T5           | 40.27                 | AB         |
| T4           | 40.07                 | AB         |
| T6           | 39.87                 | AB         |
| T0           | 31.03                 | B          |

**Figura 6**

*Altura de planta de frijol Panamito.*



La prueba de Tukey (Tabla 10 y Figura 5) indica que los tratamientos T2 (*Azotobacter*), T3 (*Azospirillum*) y T1 (*Rhizobium*), con medias de 42.87 cm, 42.43 cm y 41.50 cm respectivamente, compartieron la letra A, lo que indica que no hubo diferencias significativas entre ellos y que todos superaron al testigo (T0). Estos resultados indican que la aplicación individual de estos microorganismos promueve un mayor crecimiento en altura de las plantas de frijol Panamito, con un efecto similar entre las tres cepas evaluadas.

Los tratamientos combinados T5 (*Rhizobium* + *Azospirillum*), T4 (*Rhizobium* + *Azotobacter*) y T6 (*Rhizobium* + *Azotobacter* + *Azospirillum*), con medias entre 39.87 cm y 40.27 cm, se agruparon bajo la letra AB, mostrando un comportamiento intermedio que no difirió estadísticamente ni de los tratamientos individuales (A) ni del testigo (B). Este resultado podría indicar que las combinaciones microbianas no generan un efecto aditivo en el crecimiento vegetativo, aunque tampoco mostraron un efecto negativo respecto a las aplicaciones individuales. Finalmente, el testigo T0 (31.03 cm) se ubicó en el grupo B, confirmando que la ausencia de inoculación microbiana resultó en las menores alturas de planta.

En la variable altura de planta, los tratamientos con *Azotobacter*, *Azospirillum* y *Rhizobium* también obtuvieron los mejores resultados (42.87, 42.43 y 41.5 cm respectivamente), siendo estadísticamente superiores al testigo (31.03 cm). Las combinaciones se ubicaron en un grupo intermedio, sin diferencias significativas respecto a los tratamientos individuales ni al control (Chacón, 2025).

Este patrón es concordante con los hallazgos de Ayvar et al. (2020), quienes señalaron un aumento en la altura del frijol ejotero bajo manejo biológico, así como con Bautista (2024), quien reportó un incremento notable en la altura de maíz al aplicar *Azospirillum*. Estos resultados se explican teóricamente por la acción de las fitohormonas producidas por estos microorganismos, como auxinas y giberelinas, que estimulan el crecimiento (Cruz et al., 2020).

Aunque las combinaciones no generaron efectos superiores, su rendimiento intermedio sugiere que no afectan negativamente el crecimiento vegetal. Esto se alinea con lo planteado por Guamán (2020), quien sostiene que la interacción simbiótica entre planta y bacteria depende de condiciones específicas de compatibilidad y señalización molecular. Desde una visión crítica, si bien la altura no es un determinante directo del rendimiento, se relaciona con el desarrollo vegetativo y la eficiencia fotosintética, por lo que su incremento resulta favorable para el cultivo. Estos hallazgos refuerzan la utilidad agronómica de los biofertilizantes como promotores del crecimiento vegetal.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

La aplicación de biofertilizantes tuvo un impacto significativo en el rendimiento del cultivo de frijol Panamito. El tratamiento con *Azotobacter* (T2) fue el más eficaz, logrando 15,232.07 kg ha<sup>-1</sup> y un incremento del 176% respecto al testigo, además de registrar el mayor número de vainas por planta (50), el mayor peso de vaina (0.37 g) y la mayor altura de planta (42.87 cm). Le siguió *Azospirillum* (T3), con 13,570.94 kg ha<sup>-1</sup> (145% más que el testigo), 48 vainas por planta, 0.33 g de peso por vaina y 42.43 cm de altura. Por su parte, *Rhizobium* (T1) también mostró resultados positivos, con 13,104.27 kg ha<sup>-1</sup> (137% de incremento), 46 vainas por planta, 0.31 g de peso por vaina y 41.5 cm de altura. Aunque *Azotobacter* superó ligeramente a los demás, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos con biofertilizantes.

Las combinaciones *Rhizobium* + *Azotobacter* (T4), *Rhizobium* + *Azospirillum* (T5) y *Rhizobium* + *Azotobacter* + *Azospirillum* (T6) mostraron rendimientos intermedios, entre 9,208.10 y 9,995.91 kg ha<sup>-1</sup>, lo que representó un aumento de 81% a 111% respecto al testigo. Sin embargo, estos tratamientos fueron significativamente inferiores a los tratamientos individuales en todas las variables (número y peso de vainas, altura y rendimiento). En particular, la triple combinación (T6) mostró uno de los menores desempeños con 35.3 vainas por planta y un peso de 0.22 g, sugiriendo una posible competencia entre cepas o dilución del efecto beneficioso.

#### 5.2. Recomendaciones

Se recomienda aplicar biofertilizantes microbianos de forma individual, ya que las combinaciones evaluadas no generaron efectos sinérgicos y resultaron menos efectivas que los tratamientos aplicados por separado.

Se recomienda validar los tratamientos en diversas condiciones agroecológicas, con el fin de comprobar la consistencia de los efectos observados y adecuar su aplicación a contextos locales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Afanador, L. N. (2017). Biofertilizantes: conceptos, beneficios y su aplicación en Colombia. [https://editorial.ucentral.edu.co/ojs\\_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/2353/2177](https://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/2353/2177)
- Aguilar, M. A. (2024). Evaluación económica de la agricultura climáticamente inteligente y rol de la agrobiodiversidad en la región norte de Perú: cuenca crisnejas. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/6379/aguilar-luis-miguel-angel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ayala, P. (2024). Mecanismos moleculares y fisiológicos que participan en el diálogo simbiótico de *Rhizobium tropici* CIAT 899 y sus leguminosas hospedadoras: reguladores transcripcionales y vesículas de membrana. [Tesis de Doctorado, Universidad de Sevilla]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=332756>
- Alfonso, F. E., Fuentes, Y., Morejón, G. L. (2014). Diseño de un reactor de lixiviación de cola con ácido sulfúrico (R-1). [Trabajo de extraclase, Instituto Superior Politécnico, José Antonio Echeverría]. [https://www.researchgate.net/profile/George-Morejon-Aguila/publication/325904964\\_Diseno\\_de\\_un\\_reactor\\_de\\_lixivacion\\_de\\_cola\\_con\\_acido\\_sulfurico/links/5b2bbf1c4585150d23bc582a/Diseno-de-un-reactor-de-lixivacion-de-cola-con-acido-sulfurico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/George-Morejon-Aguila/publication/325904964_Diseno_de_un_reactor_de_lixivacion_de_cola_con_acido_sulfurico/links/5b2bbf1c4585150d23bc582a/Diseno-de-un-reactor-de-lixivacion-de-cola-con-acido-sulfurico.pdf)
- Altier, M. A. (1999). Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan–Comunidad. <https://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf>
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. (2013). Agroecología: Potenciando la agricultura campesina para revertir el hambre y la inseguridad alimentaria en el mundo. *Revista de Economía Crítica, N°10*. Universidad de California, Berkeley y Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA). <https://www.revistaeconomiacritica.org/index.php/rec/article/view/475/459>
- Ayvar, S.; Apaez, M.; Díaz, J. F.; Mena, A.; y Morales, A. J. (2020). Rendimiento de frijol ejotero con manejo químico, biológico y orgánico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Memoria p.1 – 228. [https://www.researchgate.net/profile/Jose-Diaz-Najera/publication/344058405\\_Rendimiento\\_de\\_frijol\\_ejotero\\_con\\_manejo\\_quimico\\_biologico\\_y\\_organico/links/5f4ff58aa6fdcc9879c3149c/Rendimiento-de-frijol-ejotero-con-manejo-quimico-biologico-y-organico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jose-Diaz-Najera/publication/344058405_Rendimiento_de_frijol_ejotero_con_manejo_quimico_biologico_y_organico/links/5f4ff58aa6fdcc9879c3149c/Rendimiento-de-frijol-ejotero-con-manejo-quimico-biologico-y-organico.pdf)

- Barrero, J. D. (2020). Evaluación de la respuesta de las semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad cargamanto y calima a tres tratamientos con el bioestimulante Biozyme. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/36719/jdbarreros.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Bastida, O. A. (2023). Frijol, un cultivo agrícola de mucha importancia. Blog Agricultura. <https://blogagricultura.com/frijol-cultivo-importante/>
- Bautista, M. (2024). Efecto de *Azospirillum brasilense* en la captura de carbono y rendimiento de *Zea mays* en Acobamba, Huancavelica. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/10453/T010\\_19880878\\_D.pdf?sequence=8&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/10453/T010_19880878_D.pdf?sequence=8&isAllowed=y)
- BBC News Mundo. (2012). El frijol se originó en Mesoamérica. [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/03/120307\\_frijol\\_mesoamericano\\_am](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/03/120307_frijol_mesoamericano_am)
- Begoña, A.; Farré, R.; Asensio, C.; y Martín, M. (2010). Papel de las leguminosas en la alimentación actual. *Actividad Dietética*, 14(2):72-76. <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-espanola-nutricion-humana-dietetica-283-pdf-X2173129210523381>
- Biofertilizantes. (2021). AEFA- Asociación Española De Fabricantes De Agronutrientes. Obtenido de <https://aeфа-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/biofertilizantes>
- Bonilla, R.; González, L. E. y Osvaldo, R. (2021). *Bacterias promotoras de crecimiento vegetal en sistemas de agricultura sostenible*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36976>
- Calero, E. J. (2024). Uso de la inteligencia artificial en la eficiencia y sustentabilidad en la producción agropecuaria. [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/16023/E-UTB-FACIAG-%20AGROP-000094.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cruz, M. A., Mendoza, A., Bocanegra, V., & Rivera, G. (2020). *Azospirillum* spp. desde las bacterias promotoras del crecimiento vegetal hasta su uso en biorremediación. *Revista MDPI*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9143718/pdf/microorganisms-10-01057.pdf>

- Cuadrado, B., Rubio, G. y Santos, W. (2009). Caracterización de cepas de Rhizobium y Bradyrhizobium (con habilidad de nodulación) seleccionadas de los cultivos de frijol caupi (*Vigna unguiculata*) como potenciales bioinóculos. *Revista Colombiana de Ciencias Químico - Farmacéuticas*, 38 (1), 78-104. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-74182009000100006&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-74182009000100006&lng=en&tlng=es)
- Dávila, J. I. (2021). Efecto de bioestimulantes en la altura de planta, el número de vainas y el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Var. Sumac Puka. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://190.116.36.86/bitstream/handle/20.500.14074/4395/TESIS%20JOS%20c3%89%20ISME%20c3%91O%20D%20c3%81VILA%20RAMOS.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Effio, I. A. (2022). Hidrogel y estrés hídrico en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) canario variedad centenaria. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5506/effio-barrera-israel-alfonso.pdf?sequence=11&isAllowed=y>
- FAO, FIDA, OPS, PMA y UNICEF. (2023). América Latina y el Caribe - Panorama regional de la seguridad alimentaria y la nutrición 2023: Estadísticas y tendencias. Santiago. <https://doi.org/10.4060/cc8514es>
- Galicia, E. F.; Coria, A. L. y Ortega, I. C. (s. f.). Producción de leguminosas beneficios nutricionales deficiencias productivas. <https://riico.net/index.php/riico/article/view/2254/2025>
- García, D. (2022). Seguridad alimentaria: retos y desafíos de la acuicultura en México. *Journal of Behavior and Feeding*, Vol. 2, No. 2. <https://jbf.cusur.udg.mx/index.php/JBF/article/view/31/19>
- Goicochea, D. (2019). Efecto de la aplicación de cuatro dosis de fertilizante orgánico enriquecido con microorganismos eficientes (Ferti Em) en el rendimiento de grano seco del frijol trepador (*Phaseolus vulgaris*) variedad Huasca Poroto en el distrito de Lamas. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Martín Tarapoto]. <https://core.ac.uk/download/pdf/287329245.pdf>
- Guamán, F. (2020). Aislamiento y caracterización de Rizobios de *Crotalaria* sp en el Sur de Ecuador. *Cultivos tropicales*. Vol 37. 40-47. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362016000100006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000100006)

- Gutiérrez, E. V.; Gutiérrez, M. C.; & Ortiz, C. A. (2015). Manejo integrado de nutrientes en sistemas agrícolas intensivos: revisión. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(1), 201-215. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342015000100017&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000100017&lng=es&tlng=es)
- Heredia, J. R. (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. [Tesis de Grado, Universidad Católica de Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2afa43e4-6bec-4a91-b2d3-e9ba7d7c38db/content>
- Ibarra, J., Llica, W. y Lazo, S. (2021). Determinación de la influencia de *Azotobacter* nativos en cultivo de *Raphanus sativus* como biofertilizante. [Tesis de Grado, Universidad Privada de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1627/Abarra-Kocfu-Llica-Flores.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jiménez, E. (2010). Modelación matemática del proceso de nitrificación en dos etapas. Desarrollo de metodologías de calibración del modelo para un reactor SHARON y un proceso de fangos activados. [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8499/tesisUPV3359.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Juárez G. J. y Pereda, M. E. (2023). Ganadería sustentable, una asignatura pendiente en México. Universidad Juárez del Estado de Durango. <https://doi.org/10.53588/alpa.310562>
- Lagler, J. C. (2017). Bioinsumos: distintas percepciones haciendo foco en la fertilización biológica. *Lagler Agronomía & Ambiente*. <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/65>
- Lépiz, R.; Chavarín, I. E.; López, J. J.; & Rodríguez, E. (2018). Acumulación de materia seca durante las etapas de desarrollo de variedades de frijol. *Revista fitotecnia mexicana*, 41(3), 275-282. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.3.275-283>
- Lonazco, K. M. (2022). Co-inoculación con *Bradyrhizobium* y *Azospirillum* en el rendimiento y calidad de ecotipos de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), Llachocmayo - Chiara, Ayacucho 2019. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].

[https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/5508/1/TESIS%20AG1295\\_Lon.pdf](https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/5508/1/TESIS%20AG1295_Lon.pdf)

- Martínez, E. 2019. Poblaciones de *Rhizobia* nativas de México. Centro de investigación sobre la fijación de nitrógeno, UNAM. *Acta Zool. Mex. (n.s.) Número especial* f: 29w 38. <http://www.acuedi.org/ddata/2220.pdf>
- Medina, R. C.; Bárcenas, M. J.; Sánchez, M. D.; Lagos, A. T. y Jiménez, M. A. (2023). Evaluación del potencial de hongos micorrizas y bacterias *Rhizobium* en el desarrollo fenológico y rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*). *Nexo Revista Científica*, 36(06), 808–819. <https://doi.org/10.5377/nexo.v36i06.17436>
- Mero, L. J. (2021). Efecto de *Azotobacter* en la producción de maní (*Arachis hypogaea*) Cantón Milagro, Parroquia Mariscal Sucre. [Tesis de Grado, Universidad Agraria del Ecuador]. <http://181.198.35.98/Archivos/MERO%20DAVID%20LADY%20JOHANNA.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI]. (2022). Boletín estadístico mensual: El agro en cifras. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. [https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos\\_estadisticas/mensual/Agro/2022/Agro\\_en\\_cifras\\_04\\_2022.pdf](https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/mensual/Agro/2022/Agro_en_cifras_04_2022.pdf)
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI]. (2022). Estudio de vigilancia tecnológica en el cultivo del frijol. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Primera edición. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1685>
- Morales, L., Canessa, F., Mattar, C., Orrego, R. y Matus, F. (2006). Caracterización y zonificación edáfica y climática en la Región de Coquimbo, Chile. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 6 (3), 52-74. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912006000300005>
- Morales, M. E.; Peña, C. B.; García, A.; Aguilar, G.; & Kohashi, J. (2017). Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia*, 51(1), 43-62. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952017000100043&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000100043&lng=es&tlng=es)
- Nava, L. F., Camacho, R., Aguilar, E. M., Romero, J. G., Sosa, R., Ruiz, A. I., Cárdenas, H. M., Ramos, R. (2017). Formulación de biofertilizantes a partir de aislados regionales de *Azotobacter* y *Azospirillum* y su efecto en cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en casa sombra. *Mexican Journal of Biotechnology*, 2(2):183-195. [https://docs.wixstatic.com/ugd/38ce56\\_2511cb06e6f04aaa849aa6134c55cbf7.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/38ce56_2511cb06e6f04aaa849aa6134c55cbf7.pdf)

- Nishikawa, J. (2016). Cadenas productivas promisorias para la seguridad alimentaria e inclusión económica en familias pobres rurales. [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/7113/NISHIKAWA\\_MENACHO\\_JULIO\\_CADENAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/7113/NISHIKAWA_MENACHO_JULIO_CADENAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Paredes, M. C. (2013). Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas [Trabajo de Grado, Universidad Católica Argentina]. <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacion-biologica-nitrogeno-leguminosas.pdf>
- Pérez, A.; Leyva, D. A.; & Gómez, F. C. (2018). Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(1), 175-189. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.857>
- Quintana, W. A.; Pinzón, E. H.; Torres, D. F. (2016). Evaluación del crecimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) CV ICA Cerinza, bajo estrés salino. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 19 (1): 87 – 95. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v19n1/v19n1a10.pdf>
- Reynoso, A. F., Cosme, R., Adamas, E., Juscamaita, J., & Quispe, M. (2022). Producción de Biofertilizante Líquido Acelerado. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-agraria-la-molina/agrotecnia/manual-tecnico-produccion-de-biofertilizante-liquido-acelerado/80113102>
- Riobo, N. D. (2022). Los biofertilizantes, una estrategia didáctica para el desarrollo de competencias científicas en grado octavo. [Tesis de Grado, Universidad Pedagógica Nacional]. <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/18331/Trabajo%20de%20Grado%20Natalia%20Riobo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rivera, Á. S. (2023). Inoculación de semillas con *Rhizobium phaseoli* en la producción de frijol canario (*Phaseolus vulgaris* L.), Ocobamba, Chincheros, Apurímac 2019. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad Del Cusco]. [https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/7384/253T20230130\\_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/7384/253T20230130_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rodríguez, S. X. (2020). Conciencia ecológica en el cuidado del medio ambiente de los alumnos de la I.E.E. N° 20820 “Nuestra Señora de Fátima” -Huacho. [Tesis de Grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión].

- <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/4422/SHEYLA%20X IOMARA%20RODRIGUEZ%20LA%20ROSA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rojas, D. (2018). Estandarización de un medio de cultivo complejo para la multiplicación de la Cepa C50 de *Rhizobium* sp. [Tesis de Grado, Universidad Pontificia Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8216/tesis212.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ruiz, J. A.; Medina, G.; González, I. J.; Flores, H. E.; Ramírez, G.; Ortiz, C.; Byerly, K. F.; Martínez, R. A. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. [https://www.researchgate.net/profile/Jose-Ruiz-Corral/publication/343047223\\_REQUERIMIENTOS\\_AGROECOLOGICOS\\_DE\\_CULTIVOS\\_2da\\_Edicion/links/5f1310e04585151299a4c447/REQUERIMIENTOS-AGROECOLOGICOS-DE-CULTIVOS-2da-Edicion.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jose-Ruiz-Corral/publication/343047223_REQUERIMIENTOS_AGROECOLOGICOS_DE_CULTIVOS_2da_Edicion/links/5f1310e04585151299a4c447/REQUERIMIENTOS-AGROECOLOGICOS-DE-CULTIVOS-2da-Edicion.pdf)
- Sangerman, D. M.; Acosta, J. A.; Schwenstesius, R.; Damián, M. A. & Larqué, B. S. (2010). Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(3), 363-380. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342010000300007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000300007&lng=es&tlng=es)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2019). Aptitud agroclimática del frijol en México ciclo agrícola primavera verano. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/448930/Reporte\\_de\\_Aptitud\\_agroclim\\_tica\\_de\\_M\\_xico\\_del\\_frijol\\_PV\\_2019.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/448930/Reporte_de_Aptitud_agroclim_tica_de_M_xico_del_frijol_PV_2019.pdf)
- Solís, S. (2019). Propuesta prospectiva de sistema captador y almacenamiento de agua pluvial para utilización general en unidades académicas del IPN, caso ESEO. [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional]. [https://www.academia.edu/41467429/\\_Propuesta\\_prospectiva\\_de\\_sistema\\_captador\\_y\\_almacenamiento\\_de\\_agua\\_pluvial\\_para\\_utilizaci%C3%B3n\\_general\\_en\\_unidades\\_acad%C3%A9micas\\_del\\_IPN\\_caso\\_ESEO\\_](https://www.academia.edu/41467429/_Propuesta_prospectiva_de_sistema_captador_y_almacenamiento_de_agua_pluvial_para_utilizaci%C3%B3n_general_en_unidades_acad%C3%A9micas_del_IPN_caso_ESEO_)
- Talamantes, F. A. (2021). Caracterización del microbiota rizosférica de *Amaranthus cruentus* L. y sus cambios cuando la planta es sometida a estrés salino. [Tesis de maestría, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica]. Repositorio IPICYT. <http://hdl.handle.net/11627/5660>

- Torres, C. (2017). Caracterización sintomatológica del exceso de micronutrientes (Fe, B, Mn, Mo, Zn y CU) a partir de los 45 días del trasplante del cultivo de ají charapita (*Capsicum frutescens*) en una solución nutritiva de Pucallpa. [Tesis de grado, Universidad Nacional Ucayali]. <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3676/AGRONOMIA-2017-CESARTORRES-RESUMEN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Torres, S. B. (2024). Efecto de abonamiento orgánico y fertilización foliar en etapas fenológicas en el rendimiento del cultivo de frijol var. 60 días rosado (*Phaseolus vulgaris* L.) en Monobamba. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. [http://45.177.23.200/bitstream/undac/4262/1/T026\\_72148561\\_T.pdf](http://45.177.23.200/bitstream/undac/4262/1/T026_72148561_T.pdf)
- Tupayachi, E. R. (2020). Transferencia de tecnología para el uso adecuado de plaguicidas agrícolas. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4344/tupayachi-calderon-elliott-ricardo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Urribarri, W. (2022). Densidades de plantas y niveles de guano de islas en el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Var. Red Kidney, Pichari - 550 msnm Cusco. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. [https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/5641/1/TESIS%20AF23\\_Urr.pdf](https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/5641/1/TESIS%20AF23_Urr.pdf)
- Valladares, C. A. (2010). Taxonomía y botánica de los cultivos de grano. [Trabajo de investigación, Universidad Nacional Autónoma de Honduras]. <https://curlacavunah.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/04/unidad-ii-taxonomia-botanica-y-fisiologia-de-los-cultivos-de-grano-agosto-2010.pdf>
- Valladolid, A. (2001). El cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la costa del Perú. Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA). [https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/860/1/Valladolid-Cultivo\\_Frijol\\_costa.pdf](https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/860/1/Valladolid-Cultivo_Frijol_costa.pdf)
- Vásquez, J.; Vilca, N. C. y Malqui, R. F. (2023). Manual de manejo agronómico de frijol en regiones andinas. Primera edición. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/2070>

## ANEXOS

**Tabla 12**

*Resultados de numero de vainas de frijol.*

| BLOQUE | TRATAMIENTOS |       |       |       |       |       |       |
|--------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | T0           | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    |
| BI     | 28.20        | 50.90 | 52.30 | 45.20 | 33.00 | 33.60 | 37.60 |
| BII    | 25.40        | 45.90 | 50.00 | 48.00 | 37.60 | 34.00 | 36.60 |
| BIII   | 25.80        | 42.30 | 48.20 | 51.40 | 40.20 | 43.40 | 31.70 |

**Tabla 13**

*Resultados de pesos de vainas de frijol.*

| BLOQUE | TRATAMIENTOS |      |      |      |      |      |      |
|--------|--------------|------|------|------|------|------|------|
|        | T0           | T1   | T2   | T3   | T4   | T5   | T6   |
| BI     | 0.10         | 0.29 | 0.37 | 0.34 | 0.27 | 0.21 | 0.21 |
| BII    | 0.16         | 0.34 | 0.35 | 0.31 | 0.20 | 0.25 | 0.23 |
| BIII   | 0.14         | 0.32 | 0.38 | 0.33 | 0.22 | 0.26 | 0.22 |

**Tabla 14**

*Resultados del rendimiento de frijol por hectárea.*

| BLOQUES | TRATAMIENTOS |          |          |          |          |          |         |
|---------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
|         | T0           | T1       | T2       | T3       | T4       | T5       | T6      |
| BI      | 4145.87      | 11883.43 | 15370.96 | 14241.78 | 11170.92 | 8795.90  | 8907.48 |
| BII     | 6754.22      | 14304.28 | 14587.62 | 12745.94 | 8366.73  | 10316.75 | 9566.74 |
| BIII    | 5683.38      | 13125.11 | 15737.63 | 13725.11 | 9370.91  | 10875.09 | 9150.07 |

**Tabla 15**

*Resultados de altura de planta de planta.*

| BLOQUES | TRATAMIENTOS |       |       |       |       |       |       |
|---------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         | T0           | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    |
| BI      | 29.00        | 42.90 | 46.90 | 41.50 | 37.80 | 38.40 | 36.00 |
| BII     | 33.40        | 38.30 | 38.00 | 45.70 | 39.10 | 42.80 | 43.30 |
| BIII    | 30.70        | 43.30 | 43.70 | 40.10 | 43.30 | 39.60 | 40.30 |

Figura 7

Resultados de análisis de suelos.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 200



**INFORME DE ENSAYO**  
N° 010137-25 / SU / LABSAF - BAÑOS DEL INCA

**I. INFORMACIÓN GENERAL**

Cliente : MARCOS LOLO CHACON CHAVEZ  
 Propietario / Productor : MARCOS LOLO CHACON CHAVEZ  
 Dirección del cliente : JR. LIBERTADORES N° 345-CAJAMARCA  
 Solicitado por : CLIENTE  
 Muestreado por : CLIENTE  
 Número de muestra(s) : 1  
 Producto declarado : Suelo  
 Presentación de las muestras(s) : BOLSA DE PLÁSTICO  
 Referencia del muestreo : RESERVADO POR EL CLIENTE  
 Procedencia de muestra(s) : CHUCO ALTO-JESUS-CAJAMARCA-CAJAMARCA  
 Fecha(s) de muestreo : 2024-10-02  
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2024-12-02  
 Lugar de ensayo : LABSAF BAÑOS DEL INCA  
 Fecha(s) de análisis : Del 2024-12-03 al 2025-01-22  
 Cotización del servicio : 619-24-BI  
 Fecha de emisión : 2025-01-23

**II. RESULTADO DE ANÁLISIS**

| ITEM   | 1                        |      |                |   |   |   |
|--|--------------------------|------|----------------|---|---|---|
| Código de Laboratorio                                    | SU4161-BI-24             |      |                |   |   |   |
| Matriz Analizada   | Suelo                    |      |                |   |   |   |
| Fecha de Muestreo  | 2024-10-02               |      |                |   |   |   |
| Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)                     | 16:00                    |      |                |   |   |   |
| Condición de la muestra                                  | Conservada               |      |                |   |   |   |
| Código/identificación de la Muestra por el Cliente (***) | Marco Lolo Chacón Chavez |      |                |   |   |   |
| Ensayo   | Unidad                   | LC   | Resultados     |   |   |   |
| pH.  | unid. pH                 | -    | 7,6            | - | - | - |
| Acidez Intercambiable                                    | cmol (+)/Kg              | 0,5  | --             | - | - | - |
| Aluminio Intercambiable                                  | cmol (+)/Kg              | 0,5  | --             | - | - | - |
| Carbonato De Calcio Equivalente                          | %                        | 0,5  | 10,1           | - | - | - |
| Conductividad Eléctrica                                  | mS/m                     | 1,0  | 15,0           | - | - | - |
| Materia Orgánica   | %                        | 0,1  | 4,6            | - | - | - |
| Fósforo Disponible                                       | mg/kg                    | 0,5  | 16,2           | - | - | - |
| <b>Textura</b>   | -                        | -    | -              | - | - | - |
| Arena  | %                        | -    | 55             | - | - | - |
| Arcilla  | %                        | -    | 24             | - | - | - |
| Limo   | %                        | -    | 21             | - | - | - |
| Clase Textural   | -                        | -    | Franco Arenoso | - | - | - |
| Potasio Disponible (*)                                   | mg/kg                    | 0,05 | 255,56         | - | - | - |



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliare  
 Acreditado con la Norma  
 NTP-ISO/IEC 17025:2017  
 LABSAF (Nombre)  
 Dirección: (Dirección del laboratorio)  
 Email: (correo de contacto del laboratorio)

F-46 / Ver.05  
[www.inia.gob.pe](http://www.inia.gob.pe)

### Figura 8

*Preparación de terreno.*



### Figura 9

*Delimitación de parcelas.*



### Figura 10

*Surcado de parcelas.*



**Figura 11**

*Identificación de tratamientos.*



**Figura 12**

*Inoculación de semilla.*



**Figura 13**

*Riego de machaco.*



**Figura 14**

*Siembra.*



**Figura 15**

*Deshierbo.*



**Figura 16**

*Manejo Fitosanitario.*



**Figura 17**

*Evaluación de numero de vainas.*



**Figura 18**

*Evaluación del peso de vainas*



**Figura 19**

*Evaluación de altura de planta.*

