

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



**TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**“EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN BIOLÓGICA EN EL RENDIMIENTO  
DEL CULTIVO DE HABA (*Vicia faba* L.) EN BAMBAMARCA –  
CAJAMARCA, 2023”**

**PRESENTADO POR**

**BACHILLER: Marco José Luis Cruzado Sánchez**

**ASESOR: Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia**

**CAJAMARCA – PERÚ**

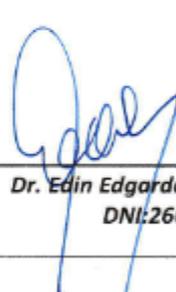
**-2025-**

**CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD**

1. **Investigador:** Marco José Luis Cruzado Sánchez  
DNI: 71621479  
Escuela Profesional/Unidad UNC: Agronomía
2. **Asesor:** Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
3. **Facultad/Unidad UNC:** Ciencias Agrarias
4. **Grado académico o título profesional:**  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
5. **Tipo de Investigación:**  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
6. **Título de Trabajo de Investigación:** "EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN BIOLÓGICA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE HABA (*Vicia faba* L.) EN BAMBAMARCA – CAJAMARCA, 2023"
7. **Fecha de evaluación:** 06/05/2025
8. **Software antiplagio:**  TURNITIN    URKUND (OURIGINAL) (\*)
9. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 19%
10. **Código Documento:** oid:3117:456428914
11. **Resultado de la Evaluación de Similitud:** 19%  
 APROBADO       PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 09/05/2025

*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 veintiocho días del mes de abril 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° 021-2025-FCA-UNC, de fecha 13 de enero del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: **"EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN BIOLÓGICA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE HABA (*Vicia faba* L.) EN BAMBAMARCA - CAJAMARCA, 2023"**, realizada por el Bachiller **MARCO JOSÉ LUIS CRUZADO SÁNCHEZ** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las once 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 dieciséis (16); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las doce 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

Ing. José Lizandro Silva Mego  
VOCAL

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

La presente Tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera, a mis padres, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona, a mis hermanos por sus palabras y su compañía, a mi esposa por sus palabras y su confianza, por su amor y por brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

## **AGRADECIMIENTO**

Al concluir una etapa maravillosa de mi vida, quiero extender un profundo agradecimiento, a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que junto a mí caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza. Esta mención en especial para DIOS, mis padres, mis hermanos, mi esposa y mis hijos. Muchas gracias a ustedes por demostrarme que “El verdadero amor no es otra cosa que el deseo inevitable de ayudar al otro para que este se supere.”

Mi gratitud, también a la Escuela Profesional de Agronomía, mi agradecimiento sincero al asesor de mi tesis, Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia, gracias a cada docente quienes con su apoyo y enseñanza constituyen la base de mi vida profesional.

## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I</b> .....	10
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>1.1. Descripción del problema</b> .....	11
<b>1.2. Formulación del problema</b> .....	12
<b>1.3. Justificación</b> .....	12
<b>1.4. OBJETIVOS</b> .....	13
<b>1.4.1. Objetivo general</b> .....	13
<b>1.4.2. Objetivos Específicos</b> .....	13
<b>1.5. HIPÓTESIS</b> .....	14
<b>CAPÍTULO II</b> .....	15
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	15
<b>2.1. Antecedentes</b> .....	15
<b>2.1.1. Internacionales</b> .....	15
<b>2.1.2. Nacionales</b> .....	16
<b>2.1.3. Locales</b> .....	17
<b>2.2. Bases teóricas</b> .....	17
<b>2.2.1. Generalidades del haba</b> .....	17
<b>2.2.2. Importancia del cultivo de haba</b> .....	18
<b>2.2.3. Taxonomía del haba</b> .....	19
<b>2.2.4. Morfología de la planta</b> .....	19
<b>2.2.5. Fenología del cultivo de haba</b> .....	21
<b>2.2.6. Requerimientos edafoclimaticos</b> .....	22
<b>2.2.7. Requerimientos Nutricionales</b> .....	22
<b>2.2.8. Características nutricionales del haba</b> .....	22
<b>2.2.9. Biofertilización</b> .....	23
<b>2.2.10. Principales bacterias fijadoras de nitrógeno</b> .....	24
<b>2.2.11. El nitrógeno atmosférico</b> .....	25
<b>2.2.12. Fijación biológica de nitrógeno</b> .....	25
<b>2.2.13. Simbiosis leguminosa</b> .....	25
<b>2.2.14. La nitrogenasa</b> .....	26
<b>2.2.15. Leghemoglobina</b> .....	26
<b>2.3. Definición de términos</b> .....	26

<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>28</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1. Ubicación .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2. Materiales .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3. Variables .....</b>	<b>31</b>
<b>3.4. Diseño experimental, arreglos de los tratamientos .....</b>	<b>31</b>
<b>3.4.1. Diseño experimental.....</b>	<b>31</b>
<b>3.4.2. Arreglos de los tratamientos .....</b>	<b>31</b>
<b>3.5. Metodología .....</b>	<b>32</b>
<b>3.6. Evaluaciones .....</b>	<b>35</b>
<b>3.6.1. Rendimiento de haba verde en kg ha<sup>-1</sup> .....</b>	<b>35</b>
<b>3.6.2. Altura planta .....</b>	<b>35</b>
<b>3.6.3. Número de macollos por planta.....</b>	<b>36</b>
<b>3.6.4. Número de vainas por planta .....</b>	<b>36</b>
<b>3.6.5. Peso de vainas por planta .....</b>	<b>36</b>
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>37</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1. Resultados.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.1. Rendimiento de habas en verde .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.2. Altura de planta .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1.3. Número de macollos.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1.4. Número de vainas.....</b>	<b>44</b>
<b>4.1.5. Peso de vainas.....</b>	<b>48</b>
<b>4.2. Discusiones.....</b>	<b>50</b>
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>52</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>52</b>
<b>5.1. Conclusiones.....</b>	<b>52</b>
<b>5.2. Recomendaciones .....</b>	<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>54</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Principales países productores de haba a nivel mundial .....	18
<b>Tabla 2</b> Superficie y rendimiento Nacional de habas en grano seco por departamento en el Perú .....	19
<b>Tabla 3</b> Composición nutricional del haba ( <i>Vicia faba</i> L.) fresca y madura en 100 gr.....	23
<b>Tabla 4</b> Microorganismos fijadores de nitrógeno. ....	24
<b>Tabla 5</b> <i>Tratamientos en estudio</i> .....	32
<b>Tabla 6</b> Resultado del Análisis del suelo. ....	33
<b>Tabla 7</b> Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de habas en verde por efecto de la fertilización biológica. ....	38
<b>Tabla 8</b> Prueba de Tukey para el rendimiento de habas en verde por efecto de la fertilización biológica.....	39
<b>Tabla 9</b> Análisis de varianza (ANOVA) para altura de planta por efecto de la fertilización biológica. ....	41
<b>Tabla 10</b> Prueba de Tukey para la altura de planta de haba por efecto de la fertilización biológica. ..	41
<b>Tabla 11</b> Análisis de varianza (ANOVA) para el número de macollos por efecto de la fertilización biológica (Datos transformados con $\sqrt{x}$ ). ....	43
<b>Tabla 12</b> Prueba de Tukey para el número de macollos por efecto de la fertilización biológica.....	44
<b>Tabla 13</b> Análisis de varianza (ANOVA) para el número de vainas por efecto de la fertilización biológica (Datos transformados con $\sqrt{x}$ ). ....	46
<b>Tabla 14</b> Prueba de Tukey para el número de vainas por efecto de la fertilización biológica.....	46
<b>Tabla 15</b> Análisis de varianza (ANOVA) para el peso de vainas por efecto de la fertilización biológica.....	49
<b>Tabla 16</b> Prueba de Tukey para el peso de vainas por efecto de la fertilización biológica.....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación geográfica del experimento.....	29
<b>Figura 2</b> Croquis del experimento.....	32
<b>Figura 3</b> Medias del rendimiento de habas en verde por planta de haba por tratamiento.....	39
<b>Figura 4</b> Medias de la altura de planta de haba por tratamiento. ....	42
<b>Figura 5</b> Medias del número de macollos por planta de haba por tratamiento. ....	44
<b>Figura 6</b> Medias del número de vainas por planta de haba por tratamiento .....	47
<b>Figura 7</b> Medias del peso de vainas por planta de haba por tratamiento .....	50
<b>Figura 8</b> Resultados del análisis de suelo. ....	61
<b>Figura 9</b> Productos utilizados en la fertilización biológica.....	62
<b>Figura 10</b> Semilla de haba utilizadas en el experimento.....	62
<b>Figura 11</b> Microorganismos utilizados en la fertilización biológica.....	63
<b>Figura 12</b> Inoculación de las semillas de haba.....	63
<b>Figura 13</b> Tratamientos para traslado a campo experimental. ....	64
<b>Figura 14</b> Siembra del cultivo de haba. ....	64
<b>Figura 15</b> Germinación del cultivo de haba.....	65
<b>Figura 16</b> Desarrollo del cultivo. ....	65
<b>Figura 17</b> Floración del cultivo.....	66
<b>Figura 18</b> Evaluación de madurez para cosecha de haba verde.....	66
<b>Figura 19</b> Evaluación de altura de planta de haba. ....	67
<b>Figura 20</b> Evaluación del número de macollos.....	67
<b>Figura 21</b> Evaluación del número de vainas.....	68
<b>Figura 22</b> Evaluación de rendimiento de haba verde.....	68

## RESUMEN

El problema de la siguiente investigación es ¿Cuál es el efecto de la fertilización biológica en el rendimiento del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en Bambamarca?; por esta razón el estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la fertilización biológica en el rendimiento del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en Bambamarca – Cajamarca, 2023. El diseño estadístico empleado fue la metodología del Diseño Bloque Completamente al Azar (DBCA) con seis tratamientos T1 (*Rhizobium*), T2 (*Azotobacter*), T3 (*Azospirillum*), T4 (*Rhizobium*+*Azotobacter*), T5 (*Rhizobium*+*Azospirillum*), T6 (*Rhizobium*+*Azotobacter*+*Azospirillum*) y Testigo. Los resultados indicaron que los tratamientos T1 (*Rhizobium*) y T3 (*Azospirillum*) fueron los más efectivos para mejorar el rendimiento de habas en verde, con los mayores rendimientos de 39601.01 kg/ha y 37847.52 kg/ha respectivamente. Estos tratamientos también aumentaron la altura de la planta, con T1 y T3 promoviendo las alturas más altas. Todos los tratamientos, del T1 al T6, aumentaron significativamente el número de macollos por planta en comparación con el testigo. Además, los tratamientos T1 a T5 incrementaron el número de vainas por planta y el peso de las vainas por planta en comparación con el testigo. Concluyendo que la inoculación de *Rhizobium*, *Azospirillum* y *Azotobacter* muestra efectos positivos en el rendimiento del haba al mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estas bacterias pueden contribuir a través de la fijación de nitrógeno, producción de hormonas vegetales y solubilización de nutrientes. Además, las combinaciones de estas bacterias exhiben efectos sinérgicos, resultando en mayores rendimientos en comparación con la inoculación individual.

**Palabra clave:** Fertilización biológica, rendimiento de haba.

## ABSTRACT

The problem of the following research is: What is the effect of biological fertilization on the yield of the broad bean crop (*Vicia faba* L.) in Bambamarca; for this reason, the study had the objective of evaluating the effect of biological fertilization on the yield of the broad bean crop (*Vicia faba* L.) in Bambamarca - Cajamarca, 2023. The statistical design used was the Completely Randomized Block Design (CSBD) methodology with six treatments T1 (*Rhizobium*), T2 (*Azotobacter*), T3 (*Azospirillum*), T4 (*Rhizobium*+*Azotobacter*), T5 (*Rhizobium*+*Azospirillum*), T6 (*Rhizobium*+*Azotobacter*+*Azospirillum*) and Control. Results indicated that treatments T1 (*Rhizobium*) and T3 (*Azospirillum*) were the most effective in improving green bean yield, with the highest yields of 39601.01 kg/ha and 37847.52 kg/ha, respectively. These treatments also increased plant height, with T1 and T3 promoting the highest heights. All treatments, T1 to T6, significantly increased the number of tillers per plant compared to the control. In addition, treatments T1 to T5 increased the number of pods per plant and pod weight per plant compared to the control. Concluding that the inoculation of *Rhizobium*, *Azospirillum* and *Azotobacter* shows positive effects on bean yield by improving plant growth and development. These bacteria can contribute through nitrogen fixation, plant hormone production and nutrient solubilization. In addition, combinations of these bacteria exhibit synergistic effects, resulting in higher yields compared to individual inoculation.

**Keyword:** Biological fertilization, bean yield.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La agricultura sigue siendo uno de los pilares fundamentales para el desarrollo económico y social de los países en vías de desarrollo, como el Perú (Nehra et al., 2016). Sin embargo, la creciente demanda de alimentos ha intensificado el uso de fertilizantes químicos en los sistemas de producción agrícola, particularmente nitrogenados como la urea, ampliamente utilizada por su elevado contenido de nitrógeno (46%) y bajo costo (Pucaa y Gonzales, 2022). Esta práctica, aunque eficiente a corto plazo, ha generado múltiples problemas ambientales y agronómicos como la acidificación del suelo, la lixiviación de nitratos y la degradación de la biodiversidad edáfica (Porter, 2010; Zahid et al., 2015).

En este contexto, la fertilización biológica se presenta como una alternativa sostenible y ecoeficiente. Esta técnica se basa en el uso de microorganismos benéficos, principalmente bacterias fijadoras de nitrógeno como *Rhizobium*, *Azospirillum* y *Azotobacter*, que mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo, estimulan el crecimiento vegetal y reducen la dependencia de fertilizantes sintéticos (Espinoza y Molina, 1999; Hungría et al., 2016). Diversos estudios, tanto internacionales como nacionales, han demostrado los efectos positivos de estas bacterias en el rendimiento de cultivos leguminosos, contribuyendo a una agricultura más resiliente y sostenible (Gonzales y Alcarraz, 2019; Chávez y Pérez, 2022).

En el ámbito local, aún existe limitada información sobre el impacto específico de estas bacterias en cultivos tradicionales como el haba (*Vicia faba* L.), una leguminosa de gran valor nutricional y económico para las comunidades andinas (Valero et al., 2018). En este sentido, la presente investigación cobra relevancia al aportar evidencia científica sobre el efecto de la fertilización biológica en el rendimiento del cultivo de haba en el distrito de Bambamarca, Cajamarca, contribuyendo al conocimiento técnico de agricultores, extensionistas agrarios e instituciones dedicadas al desarrollo rural.

El presente estudio se busca contribuir al desarrollo de una agricultura sostenible, promoviendo el uso racional de los recursos naturales y la implementación de tecnologías limpias en la producción agrícola, de manera específica, la investigación tiene como objetivo generar evidencia técnica sobre el uso de biofertilizantes en el manejo nutricional del cultivo

de haba, con el fin de mejorar su rendimiento de forma eficiente y ambientalmente responsable; esta información será de utilidad para los productores agrícolas de zonas altoandinas, quienes podrán aplicar prácticas de bajo costo que no comprometan la fertilidad del suelo ni su economía; asimismo, proporcionará herramientas validadas a técnicos y profesionales del sector agrario, y orientará a instituciones públicas y privadas en la promoción de estrategias sostenibles; finalmente, la comunidad científica podrá ampliar su conocimiento sobre la biofertilización en condiciones específicas de altura, contribuyendo al fortalecimiento del saber agronómico en contextos locales.

### **1.1. Descripción del problema**

El crecimiento poblacional, asociada a la mayor necesidad de alimentos, ha llevado a generar una agricultura de mayor dependencia de fertilizantes químicos buscando el incremento de los rendimientos; uno de estos productos es la urea que tiene el mayor consumo a nivel mundial por el alto contenido de nitrógeno en estado sólido (46 % de N) y por ser el más económico comparado con otros fertilizantes nitrogenados (Andrade, 2017). Al respecto Aquino (2020) refiere que la necesidad de suplir la alta demanda de alimentos hace que los productores quieran por cualquier medio tener un alto rendimiento (siendo el más usado el de tipo químico) sin importar el perjuicio que cause a los suelos, los consumidores finales, y económico afectando directamente al bolsillo del productor.

El uso indiscriminado de los productos químicos para la fertilización del suelo tiene repercusiones negativas en el aire, agua y suelo (Gothandapani et al, 2017; Aguado, 2012). Al respecto Yepis et al. (1999) indican que el uso excesivo de productos nitrogenados genera, desequilibrios en el suelo perjudicando su fertilidad, afecta la colonización de microorganismos fijadores de nitrógeno, genera problemas de salinidad, provocan contaminación en el agua utilizada para consumo humano, animal y vegetal.

Porter (2010) manifiesta que los productos que contienen altas cantidades de nitrógeno provocan la eutrofización de aguas superficiales y subterráneas contribuyendo a la degradación de los ecosistemas acuáticos. En relación con lo antes mencionado Zahid, Abbasi, Hameed y Rahim (2015) citado por Gonzales (2019) refieren que las aplicaciones continuas de fertilizantes nitrogenados provocan impactos negativos como la lixiviación de nitratos y emisiones gaseosas, causando daños irreparables al ambiente.

La búsqueda de satisfacer el requerimiento de nitrógeno de los cultivos hace necesaria la utilización de urea; sin embargo esta produce la acidificación del suelo, ya que es atacada por la enzima ureasa produciendo la hidrólisis y generando carbamato de amonio, que es inestable y en un ambiente alcalino se convierte rápidamente en amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y  $\text{CO}_2$ , de esta manera el  $\text{NH}$ , se volatiliza de la superficie del suelo, perdiéndose apreciable cantidad de N, y otra parte en forma de  $\text{NH}_3$  es disuelto en contacto con el agua para transformarse en  $\text{NH}_4$ , que pasa por procesos de oxidación biológica o nitrificación produciendo un exceso de  $\text{H}^+$  provocando la acidificación del suelo (Puca, 2022).

Actualmente de manera específica, un método promisorio para reducir el uso de los fertilizantes sintéticos en la agricultura es la aplicación de las bacterias nitrificadoras, como inoculantes microbianos (Nehra et al., 2016). El empleo de estos microorganismos como biofertilizantes son una opción sustentable para favorecer la disponibilidad de los elementos nutritivos, el crecimiento de las plantas y los rendimientos (Zahid et al., 2015).

Los microorganismos como biofertilizantes son estudiados desde hace mucho tiempo, porque beneficia la fijación del nitrógeno atmosférico, el mejorando rendimiento, incrementa en el suelo otros nutrientes como fósforo, potasio, magnesio (Tjalling, 2017).

Por lo anteriormente expuesto y la escasa información local del efecto que ocasiona los biofertilizantes, es que se plantea la presente investigación donde se determinara el efecto que ocasiona la fertilización biológica con *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter* y sus combinaciones en el rendimiento del cultivo de haba (*Vicia faba* L.). Este estudio se llevará a cabo bajo el siguiente planteamiento de problema.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es el efecto de la fertilización biológica en el rendimiento del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en Bambamarca?

## **1.3. Justificación**

La importancia de mejorar los rendimientos de los cultivos en los sistemas de agricultura de subsistencia con el mínimo uso de fertilizantes químicos, pasa por mejorar las interacciones de microorganismos beneficiosos-raíz-suelo que conducen a mejorar los rendimientos de los cultivos (Souza et al., 2015). Actualmente la interacción de las leguminosas

con simbióticos fijadores de nitrógeno y los géneros no simbióticos que promueven el crecimiento vegetal, están ganando cada vez más interés dentro de la fijación biológica de nitrógeno actual y se han propuesto como una nueva herramienta biotecnológica para mejorar el rendimiento y la sostenibilidad (Marks et al., 2013). Estos microorganismos tienen la capacidad de colonizar activamente el sistema radicular para favorecer y/o mejorar el crecimiento y rendimiento de las plantas (Berendsen, et al., 2012).

Las bacterias que realizan la fijación de nitrógeno, la solubilización de fosfato, la estimulación del crecimiento vegetal y que poseen actividad antifúngica contra hongos patógenos, pertenecen a los géneros *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Micrococcus* y *Enterobacter* (Verma et al., 2010).

Urzúa (2005); Herridge et al. (2008) y Labbé (2008) indican que las cantidades de N fijado simbióticamente son muy variadas y depende de la especie leguminosa, factores genéticos, condiciones edafoclimáticas, efectividad de los rizobios, competencia de las cepas comerciales inoculadas con especies silvestres, aporte de hidratos de carbono por parte de la planta, manejo del cultivo. People et al. (1995) señalan que en promedio las bacterias asociadas a las leguminosas pueden fijar entre 200 a 300 kg N ha<sup>-1</sup>, dependiendo de la variedad y las condiciones del cultivo. Por su parte, Herridge et al. (2008) indican valores promedios de tan solo 115 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, asimismo también mencionan que el haba puede fijar en promedio un 75 % del nitrógeno requerido para su crecimiento y desarrollo, equivalente a 107 kg ha<sup>-1</sup> al año.

Por ello, el propósito de la presente investigación es determinar el efecto de la fertilización biológica (*Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*) en el rendimiento del cultivo de haba (*Vicia faba* L.)

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

- Evaluar el efecto de la fertilización biológica en el rendimiento del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en Bambamarca – Cajamarca, 2023.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Evaluar el efecto en el rendimiento de haba con la inoculación de *Rhizobium*.

- Evaluar el efecto en el rendimiento de haba con la inoculación de *Azospirillum*.
- Evaluar el efecto en el rendimiento de haba con la inoculación de *Azotobacter*.
- Evaluar el efecto en el rendimiento de haba con la inoculación de las combinaciones *Rhizobium*+*Azotobacter*, *Rhizobium*+*Azospirillum*,  
*Rhizobium*+*Azotobacter*+*Azospirillum*.

## 1.5. HIPÓTESIS

La fertilización biológica influye en el rendimiento del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en la ciudad de Bambamarca.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. Internacionales

Casas et al. (2019) investigando la “Respuesta de soya (*Glycine max* L. Merr) a la inoculación con *Azospirillum* y *Bradyrhizobium*”; en La Habana, Cuba; con el objetivo de analizar las alteraciones en el desarrollo de planta y nódulos, actividad nitrogenasa y colonización por *A. brasilense* de raíces de soya inoculadas con *A. brasilense* 8-INICA y *Bradyrhizobium japonicum* USDA-110. Los resultados indicaron que la inoculación de *A. brasilense* 8-INICA no produjo cambios en la altura y la biomasa de las partes aéreas de la planta, ni en la actividad nitrogenasa, sin embargo, se observó un aumento del 61,8 % en el peso de la raíz, con respecto al control, en plantas inoculadas solamente con *Azospirillum*; mientras que se observó un aumento de solo el 6 % en plantas inoculadas sólo con *Bradyrhizobium*, no obstante, la coinoculación produjo un aumento del 11 % en este parámetro; también se observó un aumento en el peso de los nódulos del 78,9 % en plantas inoculadas; concluyéndose que *A. brasilense* 8-INICA coloniza las raíces de la soja, no sólo de forma superficial, sino también intercelular, formando una matriz parenquimática que favorece el intercambio entre la bacteria y la planta, demostrando a *A. brasilense* 8-INICA como un endófito de las raíces de soya; además mejora el peso de las raíces y los nódulos en comparación con especies nodulares como *B. japonicum* USDA-110.

Brenes y Peña (2021) en su investigación “Fijación biológica de nitrógeno en arveja (*Pisum spp*) mediante técnicas isotópicas del N15, en un suelo andisol, Llano Grande Cartago. La Angelina, de Cartago, Costa Rica; con el objetivo de determinar la cantidad de nitrógeno fijado por las plantas de arveja, para el estudio experimental se colocó sustrato en 30 macetas para realizar el estudio, con cinco macetas por cultivo, colocadas en fila, se utilizó una dosis de siembra de 10 semillas por maceta; los mejores resultados se presentaron cuando la arveja (*Pisum spp*), fue inoculada con *Azotobacter* (*Fabaceae* + *Azotobacter*) con una cantidad de nitrógeno fijado de 26,38 %, gracias a que la mayor contribución de nitrógeno fijado en los ecosistemas terrestres proviene de la asociación con diferentes géneros de bacterias; concluyendo que alternativas sostenibles lograrían minimizar el impacto, como es el uso de

plantas con capacidad de fijación biológica del nitrógeno (FBN), mayormente representado por leguminosas que fijan entre 90 y 450 kg N/ha.

### 2.1.2. Nacionales

Gonzales y Alcarraz (2019) en su investigación “Evaluación de un biofertilizante (*Azotobacter* y *Rhizobium*) para tarwi y frijol caupí como alternativa ambiental a la fertilización nitrogenada”; en Lima, Perú; con el objetivo evaluar el efecto de un biofertilizante bacteriano en base a *Rhizobium-Azotobacter* en dos leguminosas de grano tarwi (*Lupinus mutabilis*) y frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) para reemplazar la fertilización nitrogenada. Para la experimentación se utilizó un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con seis tratamientos y seis repeticiones por tratamiento: Rizo aisl-1, inoculante de *Rhizobium* sp aislado, Rizo E10, inoculante comercial de *Rhizobium* sp, *Azotobacter*, inoculante bacteriano aislado, Rizo aisl-1 + Azoto, consorcio bacteriano de *Rhizobium* y *Azotobacter*, Agua, grupo control y N+, solución de nitrato de amonio 0.1 %; los resultados indicaron que en el tratamiento con *Azotobacter* tuvo un buen porcentaje de germinación 80 %, buen crecimiento aéreo y de la raíz siendo superior al agua 66 %, en la evaluación de biomasa fresca el mejor tratamiento fue de Rizo E10, con 46 g en comparación con el agua 37 g y el N+ 45 g, al evaluar la materia seca la cepa Rizo E10 obtuvo 6.48 g, la cual fue mayor al grupo control con agua 6.26 g; concluyendo que la aplicación del biofertilizante constituido por solo *Azotobacter* o solo con Rizo-1, en forma individual o en consorcio bacteriano Rizo E10 + Azoto son una alternativa que genera menos costo al agricultor, menos daño ambiental, ecoamigable con el ambiente y puede ser aplicado en leguminosas.

Chávez y Pérez (2022) en su investigación “colecta e inoculación de *Rhizobium* sp. asociados a raíces de *Phaseolus vulgaris* (frijol) en un suelo entisol de la localidad de Nueva Requena – Pucallpa”; Amazonas, Perú. Con el objetivo de coleccionar e inocular *Rhizobium* sp asociados raíces *Phaseolus vulgaris* (frijol) en suelo entisol. El experimento se instaló en Diseño Completo al Azar (DCA) con 2 tratamientos: T1, sin *Rhizobium* sp x 4 repeticiones y T2, con *Rhizobium* sp x 4 repeticiones, 12 unidades experimentales, evaluándose tiempo de germinación; porcentaje de germinación; inicio de floración; cantidad de nódulos/planta, cantidad de vainas/planta, tamaño de vainas/planta; peso de vainas/planta, rendimiento. Obteniendo mejor resultado en el T2 (parcelas con *Rhizobium* sp), logrando una germinación en un tiempo de 4 días, 95.50 % de germinación, 26.25 nódulos por / planta, 42.25 vainas /

planta, 16.50 cm de tamaño de vainas, 5.83 g el peso de vaina / planta, y un rendimiento de 2,510 k / ha<sup>-1</sup>, con relación a las parcelas del T1, sin inoculación de *Rhizobium* sp que fueron menores.

### **2.1.3. Locales**

Escalante (2018) realizó el trabajo de investigación: “*Efectos del sistema de siembra y abono en la producción de arveja (Pisum sativum L.) grano verde (Fresca)*”, en la facultad de ciencias agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, teniendo como objetivo Determinar el efecto del sistema de siembra y del tipo de abono en el rendimiento de arveja en grano verde (fresca); el método de siembra y el tipo de fertilizante fueron los dos elementos investigados, cada uno a tres niveles; el tipo de fertilizante utilizado (gallinaza, estiércol bovino y abono químico) y el método de siembra (siembra en línea y siembra en chorro, siembra en línea y semillas en golpes, y siembra al voleo). Para ello se emplearon tres repeticiones del diseño experimental de bloques completos aleatorizados, donde el método de siembra y el tipo de fertilizante influyeron en los resultados. Los resultados indicaron que la siembra en línea y a chorro con abono de gallinaza produjo un mayor rendimiento de grano verde, por otro lado, la interacción entre el método de siembra (siembra en línea y en chorro) y el tipo de fertilizante (Fertilización química) influyó en la longitud de las plantas.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Generalidades del haba**

El haba (*Vicia faba* L.) es una papilionacea de la familia de las fabáceas, es una planta con tallo recto, follaje verde grisáceo, vaina de color verde en estado inmaduro y que se torna amarillenta hasta obscurecerse al secarse; dentro de la vaina se puede haber de 2 a 9 semillas; puede hacer simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno formando nódulos en la raíz que tienen la propiedad de fijar nitrógeno en el suelo (Valero, et al., 2018).

Es una leguminosa ampliamente cultivada, conocida por el potencial de rendimiento y contenido nutrimental; por eso es un cultivo preferido para la producción agrícola que se realiza en tierras al secano (Bhattacharya, 2019). Para Liñan y Vázquez (2021) se cultiva en todo el mundo en diferentes sistemas de cultivo y se aprovecha en granos frescos y secos. Según Valero Gaspar (2018) los granos de haba son ricos en proteínas, carbohidratos, fibra, vitaminas y minerales, compuestos fenólicos, vitamina C, folatos, tiamina, niacina y potasio.

### 2.2.2. Importancia del cultivo de haba

El haba tiene un mercado importante en los países industrializados siendo usada para consumo humano y animal por su alto valor nutritivo que tiene, 9 a 12 % de proteína en verde y en grano tiene de 24 a 32 % (Crepón et al., 2010). Según FAOSTAT (2018), el principal productor es China con 1'803,019 t, seguido de Etiopía y Australia con 930 633 y 373 605 t respectivamente, Perú ocupa el 12 lugar en volumen de producción con 72 818 t.

**Tabla 1**

*Principales países productores de haba a nivel mundial*

País	Volumen en t	Rendimiento t ha <sup>-1</sup>
China	1 803 019	1.99
Etiopía	930 633	2.08
Australia	373 605	1.63
Reino Unido	302 468	3.82
Alemania	188 800	4.06
Francia	187 681	2.99
Egipto	112 871	3.46
Sudán	110 719	1.60
Suecia	109 400	3.58
Marruecos	93 400	0.71
Italia	92 767	1.81
Perú	72 818	1.42
Túnez	64 091	1.18
España	48 468	1.32
Argelia	46 856	1.16
Siria	36 097	2.00
México	32 556	1.56

Fuente: (FAOSTAT, 2018)

En el Perú aproximadamente se cultiva 40 000 ha de haba, con una producción promedio de 1000 kg / ha<sup>-1</sup> de grano seco, el 95 % de esta producción se encuentra en los andes peruanos (Espinoza, 2017).

**Tabla 2**

*Superficie y rendimiento Nacional de habas en grano seco por departamento en el Perú.*

<b>Departamento</b>	<b>Superficie (ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
Ancash	3 600	900
Cusco	2 700	1230
Junín	1 900	1000
Puno	1 500	1100
Lima	1 500	1450
La Libertad	1 500	1030
Apurímac	1 400	850
Cajamarca	1 200	930
Huánuco	1 000	1050
Ayacucho	1 000	900
Arequipa	720	1100
Huancavelica	700	900
Piura	350	450
Amazonas	300	1500
Tacna	240	1300

Fuente: Estadística Agraria (2017) citado por Espinoza (2017).

### **2.2.3. Taxonomía del haba**

Cerrate (1981), realiza la siguiente Clasificación: Familia: Leguminosae; Subfamilia: Papilionoidea; Genero: Vicia; Especie: Faba; Nombre científico: *Vicia faba* L.; Variedades botánicas: Major, equina, minor y paucijuga.

### **2.2.4. Morfología de la planta**

López (2013), refiere que es una la planta anual, de hábito indeterminado, germinación hipogea, que prefiere temperaturas frescas y que se cultiva en regiones con mayor altitud a nivel del mar.

#### **- Raíz**

Sistema radicular pivotante que puede llegar hasta 1 m de longitud dependiendo del tipo de suelo, presenta raíces laterales con pelos absorbentes que desarrollan nódulos

producto de la simbiosis con las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico (Araujo y Estrada, 2019).

- **Tallo**

Erecto con alturas desde los 0.50 m hasta 2 m, alado y hueco con forma de prisma cuadrangular, su color varía desde el verde al morado, presenta ramificaciones en las axilas de los cotiledones (Araujo y Estrada, 2019)

- **Hojas**

Compuestas, pinnadas y alternas que se insertan en el nudo del tallo, presenta de 4 a 6 foliolos ovales y sésiles insertados en un raquis que cuenta con estipulas semisaquitadas que protegen las yemas (Araujo y Estrada, 2019).

- **Flor**

Hermafrodita con gineceo súpero unilocular y unicarpelar, ovario cilíndrico que contiene de 2 a 12 óvulos, estilo corto con estigma terminal; el androceo presenta 10 estambres; las flores se agrupan en inflorescencias en forma de racimo alojadas en las axilas de las hojas, cada racimo floral puede tener de 2 a 8 flores que se insertan por el pedicelo a un pedúnculo y este a su vez al tallo; cuenta con un cáliz campanulado con 5 sépalos pequeños; la corola es diapétala con cinco pétalos que forman el estandarte, las alas y la quilla (Araujo y Estrada, 2019).

- **Fruto**

La infrutescencia es una vaina, carnosas, alargada y gruesa, algo comprimida, con las semillas dispuestas en una hilera ventral, sobre un tabique esponjoso, el número de semillas varía de 1 a 4 dependiendo de la variedad y las condiciones ambientales (Araujo y Estrada, 2019).

- **Semilla**

De forma elíptica con tamaños que oscilan entre 0.5 a 3 cm de longitud y de 0.5 a 2 cm ancho y con pesos que van de los 0.5 a 2.6 g; presentan un hilum de color blanco o negro y una testa puede ser de color, negro, verde oscuro, verde claro, blanca, café oscuro, café claro, violeta u amarilla (Araujo y Estrada, 2019)

### 2.2.5. Fenología del cultivo de haba

López (2013), describe 9 estadios fenológicos para el cultivo de haba, y son las siguiente:

- **Estadio 0 (germinación)**

Semilla seca, comienzo de la imbibición, salida de la radícula de la semilla (indicador visual de la germinación), brote de la plúmula fuera de la semilla, crecimiento del brote, emergencia.

- **Estadio 1 (desarrollo de hojas tallo principal)**

Primer par de hojas visibles, las primeras hojas se despliegan, tres hojas abiertas; esta fase puede continuar hasta la novena o más hojas.

- **Estadio 2 (formación de brotes laterales)**

Desarrollo de brotes laterales que pueden llegar hasta 9 dependiendo de la variedad.

- **Estadio 3 (crecimiento longitudinal del tallo principal)**

Comienzo del crecimiento longitudinal del tallo, primeras hojas verdaderas, visibilidad del primer entrenudo, llega hasta 9 o más entre nudos.

- **Estadio 4 (aparición del órgano florar en el tallo principal)**

Presencia de botones florales, primeros pétalos visibles.

- **Estadio 5 (flor en el tallo principal)**

Flores abiertas, final de floración.

- **Estadio 6 (formación del fruto)**

Las vainas alcanzan su tamaño final.

- **Estadio 7 (maduración de frutos y semillas)**

Las semillas son de color verde, inicio del llenado de la vaina, las semillas secas y duras, vainas de color oscuro.

- **Estadio 8 (senescencia)**

Los tallos comienzan a oscurecerse tornándose color marrón o negros, planta muerta y seca, producto seco listo para la cosecha.

### **2.2.6. Requerimientos edafoclimaticos**

El haba es un cultivo que puede desarrollarse de una manera óptima a una altitud que va desde los 2600 hasta 3500 msnm; en suelos francos, arcillosos, ricos en materia orgánica y con buen drenaje, pH: 5.5 a 7.5 (INIAP, 2008); con un buen contenido de materia orgánica, calcio y fósforo (Nadal, 2004). Esta leguminosa se desarrolla a temperaturas entre 7 °C y 14 °C (INIAP, 2008). Al respecto Ruiz (2003) menciona que para la germinación la temperatura debe ser 6 °C, para floración de 10 a 12 °C y para fructificación y llenado de granos de 12 a 18 °C. El requerimiento de agua por ciclo del cultivo de haba debe ser de 700 mm a 1000 mm (Peralta, 1994).

### **2.2.7. Requerimientos Nutricionales**

Según Bellido et al. (2011) los requerimientos nutricionales del cultivo de haba son de 60 kg de N, 17 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 45 kg de K<sub>2</sub>O, para producir 2 t de haba verde. Al respecto Horque (2004) recomienda una fórmula fertilización de 30 – 90- 60 o 40- 90- 70 de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Y K<sub>2</sub>O aplicada momento de la siembra. Sin embargo, Para Tisdale y Nelson, (1991) citado por Agronomía (2007) en suelos poco fértiles se debe aplicar nitrógeno hasta el nivel crítico, evitando sobre dosificar la fertilización nitrogenada para evitar que el cultivo se vaya en “vicio”, esto debido a que se debe tener en cuenta el aporte nitrogenado realizado por la bacteria simbiótica *Rhizobium* spp.

### **2.2.8. Características nutricionales del haba**

El haba es fuente de proteínas, carbohidratos complejos, fibra dietética, vitaminas, minerales, compuestos fenólicos, bajas en grasa y sodio, por lo que es de gran importancia para la nutrición humana; aunque también contienen compuestos que afectan el valor nutricional como saponinas, alcaloides del ácido fítico y taninos (Turco et al., 2016).

**Tabla 3***Composición nutricional del haba (Vicia faba L.) fresca y madura en 100 gr*

Parámetros	Grano	
	Verde	Seco
Energía (kcal)	65.00	372.00
Proteína (g)	4.60	23.00
Grasa (g)	0.40	2.00
Hidratos de carbono (g)	8.60	56.00
Fibra (g)	4.20	19.00
Potasio (mg)	323.00	1030.00
Hierro (mg)	1.70	8.50
Calcio (mg)	23.00	115.00
Fosforo (mg)	84.00	590.00
Magnesio (mg)	28.00	140.00
Zinc (mg)	0.70	3.50
Sodio (mg)	120.00	3.50
Selenio (µg)	5.40	8.20
Vitamina B1 (mg)	0.17	0.52
Niacina (mg)	2.80	4.90
Folatos (mg)	78.00	140.00

Adaptado de (Enjamio et al., 2017).

**2.2.9. Biofertilización**

Según Riobo (2022) mencionan que son compuestos elaborados a base de microorganismos vivos que se aplica al suelo, la semilla o las plantas. Para Reynoso et al., (2022), estas sustancias crean una relación simbiótica con las raíces de las leguminosas, lo que permite a las plantas acceder eficazmente a nutrientes.

La tabla 4 hace referencia algunos de los microorganismos (bacterias y hongos) más comunes, que se utiliza para la fijación de N, movilización y solubilización de fosfato y la movilización de zinc y potasio.

**Tabla 4***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>Glomus</i> sp.	<b>Zinc:</b>
<i>Achromobacter</i>	<i>Paecilomyces</i> sp.	<i>Bacillus</i>	<i>Entrophospora</i> sp.	<i>Pseudomonas</i> spp.
<i>Alcaligenes</i>	<i>Bacillus circulans</i>	<i>Agrobacterium</i>	<i>Acaulospora</i> sp.	<i>Bacillus</i> spp.
<i>Arthrobacter</i>	<i>Bacillus coagulans</i>	<i>Erwinia</i>	<i>Escutellaspara</i> sp	<i>Rhizobium</i> sp.
<i>Azotobacter</i>	<i>Torulospora globasa</i>	<i>Alcaligenes</i>		
<i>Azospirillum</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Arthrobacter</i>		<b>Potasio:</b>
		<i>Pseudomonas</i>		<i>Bacillus</i> spp.
<b>Simbióticos:</b>	<i>Thiobacillus</i> (SOM)	<i>Rhizobium</i>		<i>Pseudomonas</i> spp
<i>Rhizobium</i> sp.		<i>Streptomyces</i>		
<i>Bradyrhizobium</i> sp.		<i>Xanthomonas</i>		
<i>Azolla</i>				

**Fuente.** Adaptado de Afanador (2017)

- **Benéficos de los biofertilizantes**

Las bacterias benéficas tienen un efecto positivo sobre el crecimiento y el desarrollo de las plantas; las estrategias directas de estimulación del crecimiento de estos microorganismos giran en torno a la ayuda a la absorción de nutrientes y la producción o el control de las hormonas vegetales que influyen en los procesos indirectos de los promotores del crecimiento vegetal, también contienen varios sistemas para prevenir o controlar las enfermedades de las plantas (Cruz et al., 2020).

### 2.2.10. Principales bacterias fijadoras de nitrógeno

- **Azotobacter**

Es un género reconocido como fijadores asociativos de nitrógeno; su nombre es una combinación de la palabra griega "bacter" para bacilo y la palabra francesa "asoto" para nitrógeno; las bacterias *Azotobacter* se utilizan en la producción agrícola de todo el mundo porque pueden fijar hasta en un 50 % el nitrógeno de las plantas, lo que ayuda al desarrollo de estas (Ibarra, et al., 2021).

- **Azospirillum**

Son microorganismos de vida libre que contribuyen al crecimiento de las plantas fijando el nitrógeno y produciendo fitohormonas, poliaminas y trehalosa; el *Azospirillum* tiene varios métodos de acción diferentes, y la importancia de cada uno de ellos puede cambiar en función del suelo, el clima y la solubilización de los minerales que utiliza la planta, incluidos el hierro y el fósforo, dando como resultado plantas más grandes y productivas (Cruz et al, 2020).

- **Rhizobium**

En relación con las leguminosas, los rizobios son bacterias capaces de fijar el nitrógeno atmosférico beneficia el desarrollo y el crecimiento plantas, esta fijación se da a través de la producción de nódulos en las raíces de las plantas (Biofertilizantes, 2021).

#### **2.2.11. El nitrógeno atmosférico**

El N abunda naturalmente en el ambiente, pero las plantas no pueden absorberlo directamente y lo hacen del suelo en forma de nitratos o amonio a través de actividad fotosintética; la fijación biológica de nitrógeno es importante en la biosfera, porque los microorganismos que tienen la enzima nitrogenasa convierten el N gaseoso del aire en N combinado que la planta necesita (Martínez, 2019).

#### **2.2.12. Fijación biológica de nitrógeno**

Actualmente la fijación biológica del N reemplaza a los fertilizantes químicos comerciales, previniendo pérdida de fertilidad del suelo por falta de este elemento; los procesos de nitrificación son realizados por bacterias del suelo que se establecen en raíces de plantas leguminosas proporcionándoles el nitrógeno que necesitan para su crecimiento (Rojas, 2018).

#### **2.2.13. Simbiosis leguminosa**

La simbiosis es un factor de interacción eficiente entre planta (leguminosa)-bacteria, para estimular proteínas, a través de la fijación biológica del nitrógeno, quienes asimilan nitrógeno atmosférico convirtiéndolo en amonio o nitrato para la fijación del N (Goicochea, 2019). Para Guamán (2020) esta asociación es realizada durante la fotosíntesis es una acción específica entre planta-bacteria, comunicados con un intercambio de señales químicas entre ambas partes para permitir el reconocimiento e invasión de la leguminosa hospedadora por las

bacterias fijadoras de nitrógeno, seguido a la invasión resulta la proliferación y fijación del nitrógeno a través de algunas estructuras de la planta.

#### **2.2.14. La nitrogenasa**

Es la enzima responsable de capturar nitrógeno atmosférico convirtiéndolo a amonio durante la simbiosis entre leguminosa y bacterias; esta acción lo realiza el complejo enzimático nitrogenasa, compuesto por dos enzimas: dinitrogenasa y dinitrogenasa reductasa; la dinitrogenasa reductasa está encargada de transferir electrones a la dinitrogenasa, que unida a un cofactor de hierro y molibdeno reduce luego al  $N^2$  mediante una serie de reacciones (Guamán, 2020). Torres (2017), indica que para que la reducción de nitrogenasa se lleve a cabo necesitamos la ausencia de  $O_2$ , incluso en organismos aerobios y anaerobios, porque este gas inactiva la nitrogenasa.

#### **2.2.15. Leghemoglobina**

Es una proteína producida por plantas leguminosas que se une al oxígeno través de un grupo hemo que participa en la simbiosis entre bacterias y plantas para la fijación de nitrógeno (Cuadrado et al, 2019).

### **2.3. Definición de términos**

#### **- Biofertilizante**

Productos de origen biológico que ofrece soluciones sustentables para la mejora de las buenas prácticas agrícolas ligadas a acciones más amigables con el ambiente.

#### **- Fertilización biológica**

Aplicación de microorganismos en la agricultura para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes con distintos efectos favorables como la promoción de su crecimiento vegetal, fijación de nitrógeno, solubilización de nutrientes, efectos de biocontrol y mejora de la tolerancia a patógenos entre otros.

#### **- Simbióticos**

Se refiere a cualquier asociación benéfica entre microorganismos y las raíces de las plantas.

- **Edafoclimáticas**

Áreas geográficas que poseen características climáticas y edáficas homogéneas.

- **Eutrofización**

Aporte excesivo de nutrientes al ecosistema acuático procedentes de la actividad humana principal nitrógeno (N) y (P), produciendo una proliferación descontrolada de algas fitoplanctónicas y provocando efectos adversos en las masas de agua afectadas.

- **Lixiviación**

Proceso por el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido.

- **Nitrificadoras**

La nitrificación es la oxidación biológica del amonio con oxígeno para dar nitrito, seguida por la oxidación de esos nitritos a nitratos.

- **Ecoamigable**

Hábito que, de alguna manera, ayudan a proteger el medio ambiente.

## **CAPÍTULO III**

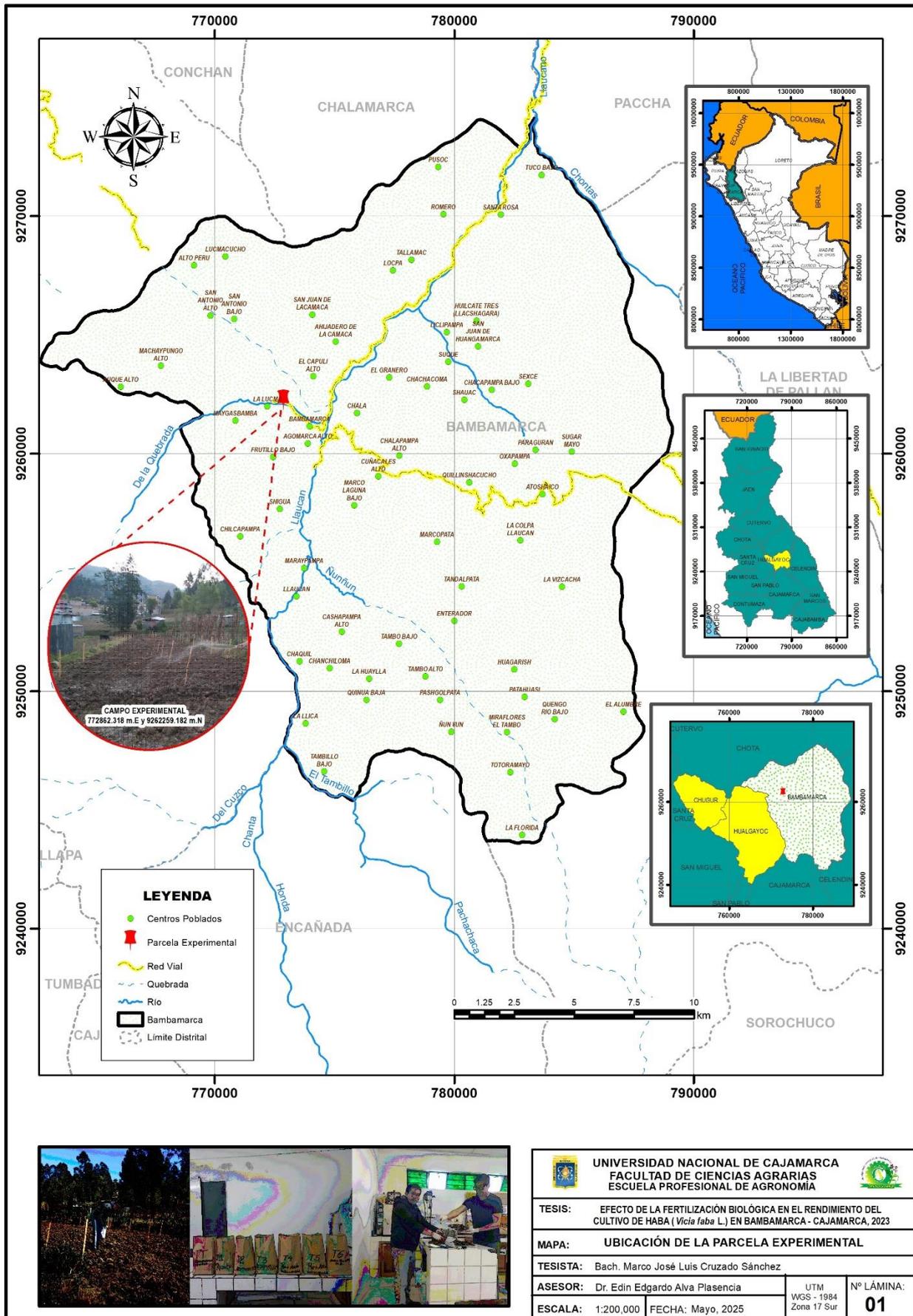
### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ubicación**

La instalación, conducción y evaluación de la parte experimental de la presente investigación se llevó a cabo en el centro poblado de Maygasbamba, ubicado en el distrito de Bambamarca, provincia de Hualgayoc, región Cajamarca; la zona de estudio se encuentra a una altitud de 2592 metros sobre el nivel del mar y está geográficamente localizada en las coordenadas UTM: 772865 m Este y 9262259 m Norte.

**Figura 1**

*Ubicación geográfica del experimento.*



### **3.2. Materiales**

- **Material vegetal**
  - Semillas de haba de la variedad verde
  
- **Materiales biológicos**
  - *Rhizobium*
  - *Azotobacter*
  - *Azospirillum*
  
- **Equipos**
  - Mochila de fumigar
  - Balanza digital
  - Estufa
  - Laptop
  - Cámara fotográfica
  
- **Herramientas**
  - Zapapico
  - Rastrillo
  - Lampa
  - Comba
  
- **Otros materiales experimentales**
  - Wincha
  - Rafia
  - Estacas
  - Letreros
  - Libreta de campo

### 3.3. Variables

- **Variable independiente**  
Fertilización biológica
- **Variable dependiente**  
Rendimiento de haba

### 3.4. Diseño experimental, arreglos de los tratamientos

#### 3.4.1. Diseño experimental

El diseño estadístico que se empleó para evaluar el efecto de la fertilización biológica en el rendimiento del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) fue la metodología del Diseño Bloque Completamente al Azar (DBCA) simple con tres repeticiones (bloques), seis tratamientos y un grupo control (testigo) por repetición, cuyo modelo estadístico es:

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

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

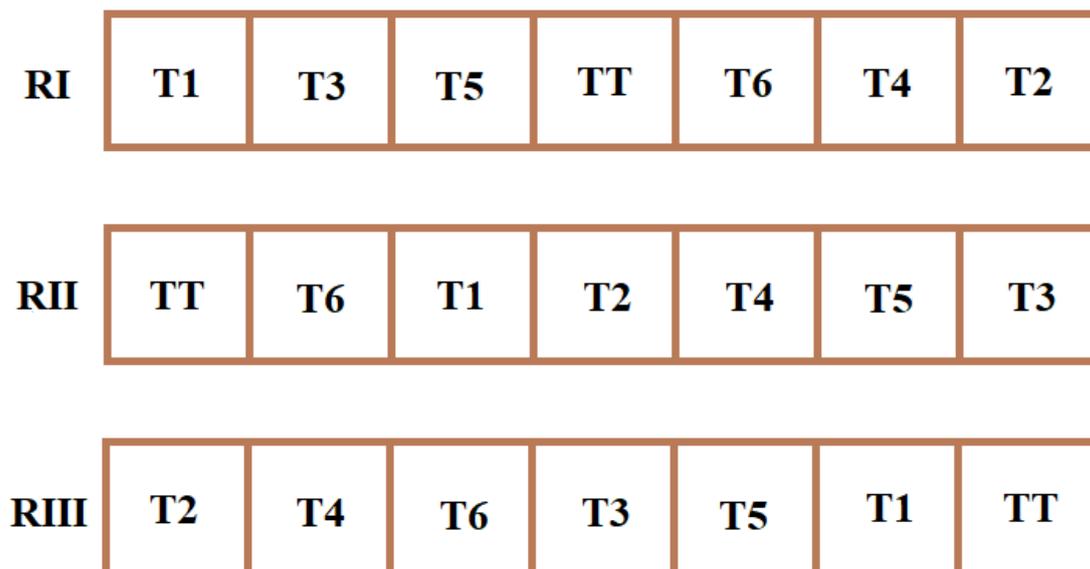
$E_{ij}$  = Efecto del error experimental que se presenta al efectuar la j-ésima observación del i-ésimo tratamiento.

#### 3.4.2. Arreglos de los tratamientos

Los tratamientos estuvieron representados por la inoculación de la semilla de haba (*Vicia faba* L.) con bacterias individuales del género *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum* y sus combinaciones *Rhizobium-Azotobacter*, *Rhizobium-Azospirillum*, *Rhizobium-Azotobacter-Azospirillum*; la distribución de los tratamientos se realizó por aleatorización o randomización en un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA).

**Tabla 5***Tratamientos en estudio*

<b>Tratamiento</b>	<b>Clave</b>	<b>Descripción</b>
1	T1	<i>Rhizobium</i>
2	T2	<i>Azotobacter</i>
3	T3	<i>Azospirillum</i>
4	T4	<i>Rhizobium</i> + <i>Azotobacter</i>
5	T5	<i>Rhizobium</i> + <i>Azospirillum</i>
6	T6	<i>Rhizobium</i> + <i>Azotobacter</i> - <i>Azospirillum</i>
7	Testigo	---

**Figura 2***Croquis del experimento*

### 3.5. Metodología

#### 3.5.1. Análisis de suelo

Se tomó una muestra representativa de toda el área de la parcela experimental, para ello se utilizó la técnica de muestreo del zigzag; la muestra se envió al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina para el análisis de caracterización más nitrógeno del suelo.

**Tabla 6***Resultado del Análisis del suelo.*

pH	CE (dS/m)	CaCO <sub>3</sub> (%)	M.O. (%)	P (ppm)	K (ppm)	Análisis Mecánico			Clase textural	CIC	% sat. De Bases
						Arena	Limo	Arcilla			
7.74	1.01	28.61	3.00	14.3	253	34	23	43	Fr.Ar.A.	13.60	100

**Nota:** Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de U NALAM.

Según los resultados del análisis de suelos presentados en la tabla 6, el terreno donde se realizó el experimento posee una textura moderadamente fina, clasificada como franco arcilloso. Presenta una reacción ligeramente alcalina, con un pH de 7.74, no es salino, ya que la conductividad eléctrica (C.E.) es de 1.01 dS/m. El contenido de carbonatos es alto, con un porcentaje de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) de 28.61%. Además, el suelo tiene un nivel medio de materia orgánica (3.00 %), el fósforo disponible es alto (14.3 ppm) y potasio disponible es alto (253 ppm); por otro lado, se destaca un nivel alto en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 13.60 meq/100 g, así como una saturación de bases elevada, alcanzando el 100%.

### 3.5.2. Preparación de terreno definitivo

El acondicionamiento del terreno se ejecutó haciendo uso del zapapico, a una profundidad de preparación de 25 a 40 cm, debido a que la especie posee una raíz pivotante, por lo que se tiene que realizar una labor profunda.

### 3.5.3. Distribución de tratamientos

El trazado se ejecutó con la ayuda de un cordel, estacas, wincha y cal, luego se distribuyó en el terreno los tratamientos bajo un Diseño Experimental Bloques Completamente Aleatorizado (DBCA); el área de cada unidad experimental fue de 20 m<sup>2</sup> (4 X 5 m), haciendo un total de 140 m<sup>2</sup> por cada repetición y 420 m<sup>2</sup> en las tres repeticiones sin considerar pasadizos entre bloques.

### 3.5.4. Surcado

Con una wincha se marcó los surcos en ambos extremos a un distanciamiento de 80 cm, se colocó estacas en cada punto para alinear el camellón con ayuda de un cordel, luego se realizó la apertura de surcos con un zapapico a lo largo de la cuerda.

### **3.5.5. Inoculación de semillas**

La inoculación de semillas se realizó teniendo en cuenta los tratamientos considerados en el estudio; para la adhesión de bacterias individuales de la especie *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum* se inoculó utilizando 24 gr de inoculante por kilogramo de semilla; y para las combinaciones *Rhizobium-Azotobacter*, *Rhizobium- Azospirillum*, *Rhizobium-Azotobacter-Azospirillum*, se hizo una mezcla de 7 gr de cada inoculante por cada kg de semilla. Para inocular primero se desinfectó las semillas con etanol al 1 % y cloro comercial al 10 %, por 3 y 4 minutos, respectivamente, enjuagándolo con abundante agua de mesa; en un recipiente se diluirá 600 ml de melaza en 250 ml de agua caliente, se mojó las semillas con la solución de melaza, luego se colocó el inoculante removiéndolo para que recubra toda semilla, finalmente se dejó secar a la sombra.

### **3.5.6. Siembra**

La distribución se realizó de manera manual dos horas después de inoculada la semilla, colocando de dos a tres semillas por golpe, a una distancia de 30 cm entre plantas; para garantizar la sobrevivencia de las bacterias la siembra se hizo en horas de la mañana a una profundidad de tres veces el tamaño de la semilla.

### **3.5.7. Control de arvenses**

Los arvenses se eliminaron de forma manual utilizando lampa; esta actividad se realizará 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; la eliminación oportuna de arvenses evito que las plagas y enfermedades se hospeden en la maleza.

### **3.5.8. Aporque**

Esta actividad se ejecutó removiendo el suelo y amontonando la tierra en la base de las plantas a lo largo del surco; esta labor se realizó al momento del segundo deshierbo (macollamiento) y antes de la floración, cuando el suelo estuvo húmedo y la planta alcance 30 a 40 cm de altura.

### **3.5.9. Riego**

La aplicación de agua para abastecer el requerimiento hídrico del cultivo se realizó con sistema riego presurizado por aspersión, los riegos se efectuarán cada 15 días teniendo prioridad en las etapas de floración y llenado de vainas que se realizarán cada 8 días.

### **3.5.10. Cosecha**

La cosecha se realizó en vaina verde; para determinar el momento óptimo se observará el tamaño de las vainas, el tamaño y apariencia de los granos, y en menor medida el número de vainas aptas para la cosecha, además; cuando se abrió una vaina la coloración del hilum comienza a perder el verdor y el funículo se desprende del grano con facilidad.

## **3.6. Evaluaciones**

### **3.6.1. Rendimiento de haba verde en kg ha<sup>-1</sup>**

Para calcular el rendimiento por hectárea, primero se calculó el número de plantas por hectárea, que está en función al distanciamiento entre surco (0.80) y entre golpes (0.30), para ello se utilizó la siguiente formula:

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

Donde:

ds : Distancia entre surcos

dp : Distancia entre plantas

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

Una vez obtenido la densidad de siembra se procedió a multiplicar el peso de vainas por planta de cada tratamiento y bloque por el número de plantas por hectárea, los resultados se expresaron en kilogramos por hectárea.

### **3.6.2. Altura planta**

Con una wincha métrica se midió 8 plantas al azar de cada unidad experimental y se midió la altura de planta desde la base del cuello hasta el ápice del tallo principal, los resultados se sumaron y se obtuvo el promedio expresado en cantidades.

### **3.6.3. Número de macollos por planta**

Se tomó 8 plantas al azar de cada unidad experimental y se contó el tallo principal y las ramas basales.

### **3.6.4. Número de vainas por planta**

Se cogió 8 plantas al azar por tratamiento y se procedió a contar el número de vainas sin discriminar a ninguna por tamaño o daño alguno.

### **3.6.5. Peso de vainas por planta**

De la evaluación del número de vainas por planta se procedió a separar las vainas del tallo y se pesaron utilizando una balanza digital.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados

##### 4.1.1. Rendimiento de habas en verde

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar el rendimiento de habas en verde reveló que la fuente de variación "bloques" no demostró significancia estadística (p-valor = 0.4428), ya que este valor excede el nivel de significancia establecido del 5%. Esto indica que no hay diferencias significativas en el rendimiento de habas en verde entre los bloques utilizados en el estudio, lo que indica que los bloques no influyeron de manera significativa en la diferencia observada en el rendimiento de habas en verde.

Por otro lado, los resultados para la fuente de variación tratamientos fueron altamente significativos (p-valor = < 0.0001), indicando que existen diferencias significativas entre los tratamientos en términos del rendimiento de habas en verde observado. Esto indica que los distintos tratamientos aplicados mostraron un efecto significativo en el rendimiento de habas en verde y tuvieron un impacto diferenciado en el desarrollo de este aspecto específico del cultivo de haba.

El coeficiente de variación (CV) para el rendimiento de habas en verde fue de 3.79 %, el cual es bajo e indica la variabilidad del rendimiento de habas en verde dentro de cada tratamiento. Además, indica que el diseño empleado fue adecuado y que los datos denotan confiabilidad.

Según la prueba de Tukey (Figura 2), Los tratamientos T1 (*Rhizobium*) y T5 (*Azospirillum*) exhibieron los rendimientos de habas en verde más altos, con valores de 39601.01 kg / ha y 38455.17 kg / ha respectivamente, y fueron agrupados en el grupo A y grupo AB. Esto sugiere que la aplicación de *Rhizobium* y *Azospirillum* promovió un significativo aumento en el rendimiento de habas en verde en comparación con el testigo, respaldando la capacidad de estas bacterias para estimular la producción de habas.

Los tratamientos T2 (*Azotobacter*) y T5 (*Rhizobium* + *Azospirillum*) presentaron rendimientos de habas en verde ligeramente inferiores, con valores de 36562.79 kg / ha y 38455.17 kg/ha respectivamente, y fueron agrupados en el grupo B. Estos resultados indican que la aplicación de *Azotobacter* y la combinación de *Rhizobium* con *Azospirillum* también tuvieron un impacto positivo en el rendimiento de habas en verde en comparación con el testigo, aunque en menor medida que los el T1.

Por otro lado, los tratamientos T4 (*Rhizobium* + *Azotobacter*) y T6 (*Rhizobium* + *Azotobacter* - *Azospirillum*) mostraron rendimientos de habas en verde algo más bajos, con valores de 35955.15 kg / ha y 31198.17 kg / ha respectivamente, y fueron agrupados en el grupo B y C, respectivamente. Aunque estos tratamientos también demostraron una mejora en el rendimiento en comparación con el testigo, parece ser menos efectiva que la aplicación individual de *Rhizobium* o *Azospirillum*, o su combinación.

Finalmente, el testigo, con un rendimiento de habas en verde de 19739.74 kg / ha, fue agrupado en el grupo D, lo que indica que tuvo el menor efecto en el rendimiento en comparación con los tratamientos evaluados, subrayando la importancia de la fertilización biológica en la mejora del rendimiento del cultivo de haba en verde.

### Tabla 7

*Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de habas en verde por efecto de la fertilización biológica.*

<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	2778080.6	2	1389040.3	0.8725	0.4428
Tratamientos	862065048	6	143677508	90.2473	<0.0001
Error	19104503	12	1592041.9		
Total	883947632	20			

CV = 3.69 %

*Nota.* La tabla muestra el análisis de varianza para rendimiento de habas en verde, donde se determina la diferencia estadística entre tratamientos, debido a que presentan un p-valor menor a 0.05.

**Tabla 8**

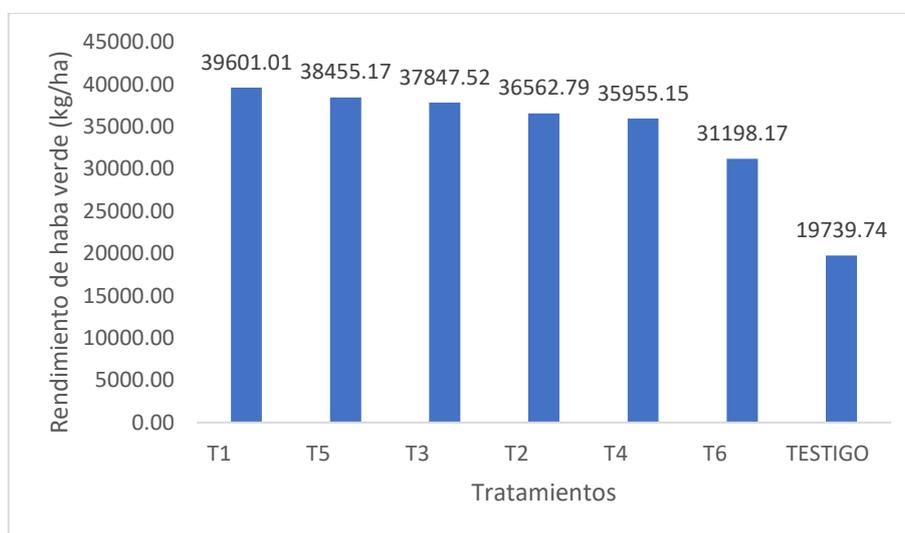
*Prueba de Tukey para el rendimiento de habas en verde por efecto de la fertilización biológica.*

Tratamientos	Rendimiento de haba verde kg/ha	Agrupación
T1	39601.01	A
T5	38455.17	AB
T3	37847.52	AB
T2	36562.79	AB
T4	35955.15	B
T6	31198.17	C
Testigo	19739.74	D

*Nota.* La tabla muestra la prueba de Tukey al 0.05, que permite comparar los tratamientos en estudio y determinar el mejor tratamiento para el rendimiento en kg/ha de haba verde.

**Figura 3**

*Medias del rendimiento de habas en verde por planta de haba por tratamiento.*



*Nota.* En la figura se muestra los rendimientos de haba verde en kilogramos, de acuerdo con los tratamientos en estudio.

#### 4.1.2. Altura de planta

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar la altura de la planta reveló que la fuente de variación "bloque" no mostró significancia estadística ( $p$ -valor = 0.2353), ya que este valor excede el nivel de significancia establecido del 5%. Esto indica que no hay diferencias significativas en los resultados de la altura de la planta entre los bloques utilizados en el estudio.

Por otro lado, los resultados para la fuente tratamientos fueron altamente significativos ( $p$ -valor < 0.0001), indicando que existen diferencias significativas entre los tratamientos en términos de su influencia en la altura de la planta, es decir, los distintos tratamientos aplicados muestran un efecto significativo en la altura de la planta y tienen un impacto diferenciado en su desarrollo.

El coeficiente de variación (CV) para la altura de planta fue de 1.12 %, el cual es bajo e indica la variabilidad de la altura de planta dentro de cada tratamiento. Además, indica que el diseño empleado fue adecuado y que los datos denotan confiabilidad.

Los tratamientos T1 (*Rhizobium*) y T3 (*Azospirillum*) exhibieron las alturas de planta más altas, con valores de 1.45 cm y 1.43 cm respectivamente, y fueron agrupados en el grupo A. Esto sugiere que la aplicación de *Rhizobium* y *Azospirillum* promovió un significativo crecimiento en comparación con el testigo, lo que respalda la capacidad de estas bacterias para estimular el desarrollo de las plantas de haba.

Los tratamientos T2 (*Azotobacter*) y T5 (*Rhizobium* + *Azospirillum*) presentaron alturas de planta ligeramente inferiores, con valores de 1.36 cm y 1.35 cm respectivamente, y fueron agrupados en el grupo B. Estos resultados indican que la aplicación de *Azotobacter* y la combinación de *Rhizobium* con *Azospirillum* también tuvieron un impacto positivo en el crecimiento de las plantas de haba en comparación con el testigo, aunque en menor medida que los tratamientos del grupo A.

Por otro lado, los tratamientos T4 (*Rhizobium* + *Azotobacter*) y T6 (*Rhizobium* + *Azotobacter* - *Azospirillum*) mostraron alturas de planta algo más bajas, con valores de 1.26 cm y 1.24 cm respectivamente, y fueron agrupados en el grupo C. Aunque estos tratamientos

también demostraron una mejora en el crecimiento en comparación con el testigo, parece ser menos efectiva que la aplicación individual de *Rhizobium* o *Azospirillum*, o su combinación.

Finalmente, el testigo, con una altura de planta de 1.1 cm, fue agrupado en el grupo D, lo que indica que tuvo el menor efecto en el crecimiento en comparación con los tratamientos evaluados, subrayando la importancia de la fertilización biológica en la mejora del rendimiento del cultivo de haba.

**Tabla 9**

*Análisis de varianza (ANOVA) para altura de planta por efecto de la fertilización biológica.*

<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	0.000710	2	0.000360	1.64	0.2353
Tratamientos	0.280000	6	0.050000	211.82	<0.0001
Error	0.002600	12	0.000220		
Total	0.280000	20			

CV = 1.12 %

*Nota.* La tabla muestra el análisis de varianza para altura de planta, donde se determina la diferencia estadística entre tratamientos, debido a que presentan un p-valor menor a 0.05.

**Tabla 10**

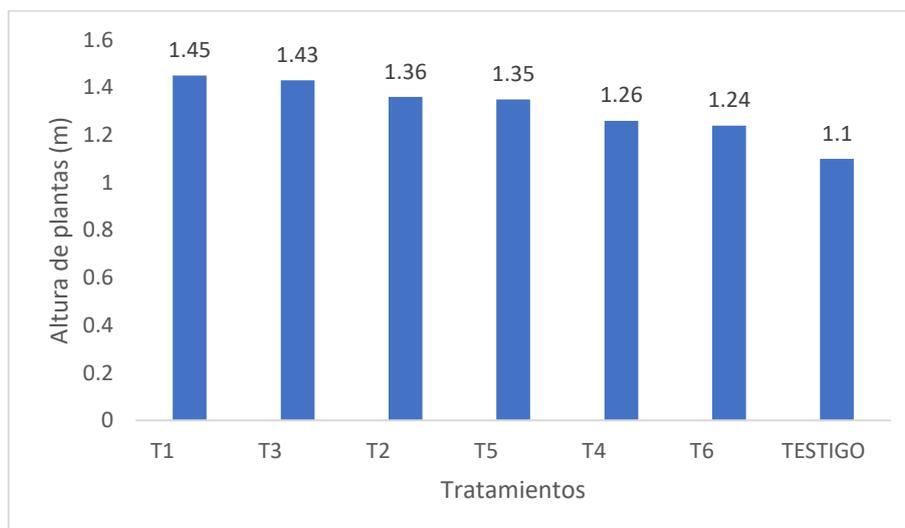
*Prueba de Tukey para la altura de planta de haba por efecto de la fertilización biológica.*

<b>Tratamientos</b>	<b>Altura de plantas (cm)</b>	<b>Agrupación</b>
T1	1.45	A
T3	1.43	A
T2	1.36	B
T5	1.35	B
T4	1.26	C
T6	1.24	C
Testigo	1.1	D

*Nota.* La tabla muestra la prueba de Tukey al 0.05, que permite comparar los tratamientos en estudio y determinar el mejor tratamiento para altura de planta.

## Figura 4

*Medias de la altura de planta de haba por tratamiento.*



*Nota.* En la figura se muestra la altura de planta de haba, de acuerdo con los tratamientos en estudio.

### 4.1.3. Número de macollos

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar el número de macollos reveló que la fuente de variación bloques no mostró significancia estadística ( $p$ -valor = 0.0781), dado que este valor supera el nivel de significancia establecido del 5%. Esto indica que no hay diferencias significativas en el número de macollos entre los bloques utilizados en el estudio. Por otro lado, los resultados para la fuente de variación "tratamientos" fueron altamente significativos ( $p$ -valor = 0.0001), lo que indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos en términos del número de macollos observados, es decir, los distintos tratamientos aplicados mostraron un efecto significativo en el número de macollos y tuvieron un impacto diferenciado en el desarrollo de este aspecto específico del cultivo de haba.

El coeficiente de variación (CV) para el número de macollos fue de 3.69 %, el cual es bajo e indica la variabilidad del número de macollos dentro de cada tratamiento. Además, indica que el diseño empleado fue adecuado y que los datos denotan confiabilidad.

Según la prueba de Tukey (Figura 4), todos los tratamientos (T1 a T6) mostraron un número significativamente mayor de macollos por planta en comparación con el testigo, que registró solo 5 macollos por planta. Todos los tratamientos fueron agrupados en el grupo A, lo que indica que no hubo diferencias significativas entre ellos en términos del número de

macollos. Esto indica que tanto el tratamiento T1 (*Rhizobium*), que implica la aplicación de *Rhizobium*, como el tratamiento T5 (*Rhizobium* + *Azospirillum*), que es una combinación de *Rhizobium* y *Azospirillum*, así como T3 (*Azospirillum*), que consiste en la aplicación de *Azospirillum* únicamente, T2 (*Azotobacter*), que implica la aplicación de *Azotobacter*, T6 (*Rhizobium* + *Azotobacter* - *Azospirillum*), que es una combinación de *Rhizobium* y *Azotobacter* excluyendo *Azospirillum*, y T4 (*Rhizobium* + *Azotobacter*), que es una combinación de *Rhizobium* y *Azotobacter*, tuvieron un efecto similar y positivo en la promoción del número de macollos por planta en comparación con el testigo. Esto indica que la aplicación de cada uno de estos tratamientos promovió un mayor desarrollo de macollos en las plantas de haba en comparación con el testigo.

**Tabla 11**

*Análisis de varianza (ANOVA) para el número de macollos por efecto de la fertilización biológica (Datos transformados con  $\sqrt{x}$ ).*

<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	0.0664	2	0.0332	3.1769	0.0781
Tratamientos	0.8162	6	0.136	13.0269	0.0001
Error	0.1253	12	0.0104		
Total	1.0079	20			

CV = 3.69 %

*Nota.* La tabla muestra el ANOVA para número de macollos, donde se determina la diferencia estadística entre tratamientos, debido a que presentan un p-valor menor a 0.05.

**Tabla 12**

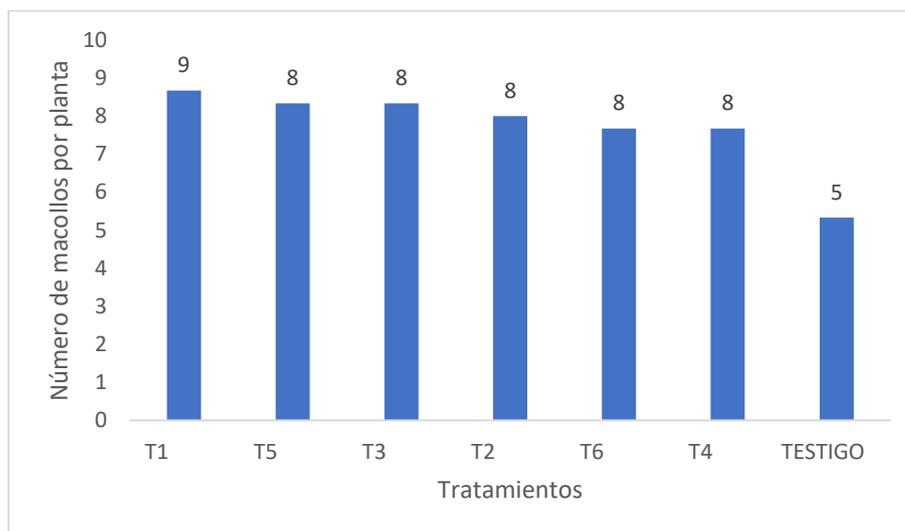
*Prueba de Tukey para el número de macollos por efecto de la fertilización biológica.*

Tratamientos	Número de macollos por planta	Agrupación
T1	9	A
T5	8	A
T3	8	A
T2	8	A
T6	8	A
T4	8	A
Testigo	5	B

*Nota.* La tabla muestra la prueba de Tukey al 0.05, que permite comparar los tratamientos en estudio y determinar el mejor tratamiento para número de macollos.

**Figura 5**

*Medias del número de macollos por planta de haba por tratamiento.*



*Nota.* En la figura se muestra número de macollos por planta de haba, de acuerdo con los tratamientos en estudio.

#### 4.1.4. Número de vainas

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar el número de vainas reveló que la fuente de variación "bloques" no demostró significancia estadística (p-valor = 1.00), ya que este valor excede el nivel de significancia establecido del 5%. Esto indica que no hay

diferencias significativas en el número de vainas entre los bloques utilizados en el estudio, lo que sugiere que los bloques no influyeron de manera significativa en las diferencias observadas en el número de vainas.

Por otro lado, los resultados para la fuente de variación tratamientos fueron altamente significativos ( $p$ -valor  $< 0.0001$ ), indicando que existen diferencias significativas entre los tratamientos en términos del número de vainas observadas. Esto indica que los distintos tratamientos aplicados mostraron un efecto significativo en el número de vainas y tuvieron un impacto diferenciado en el desarrollo de este aspecto específico del cultivo de haba.

El coeficiente de variación (CV) para el número de vainas fue de 0.48 %, el cual es bajo e indica la variabilidad del número de vainas dentro de cada tratamiento. Además, indica que el diseño empleado fue adecuado y que los datos denotan confiabilidad.

Según la prueba de Tukey (Tabla 13), todos los tratamientos, incluyendo *Rhizobium* (T1), *Rhizobium* + *Azospirillum* (T5), *Azospirillum* (T3), *Azotobacter* (T2), y *Rhizobium* + *Azotobacter* (T4), mostraron un número significativamente mayor de vainas por planta en comparación con el testigo, que registró solo 59 vainas por planta y fue agrupado en el grupo C. Esto sugiere que todos estos tratamientos, que involucran diferentes combinaciones de bacterias y/o aplicaciones individuales, promovieron un incremento significativo en el número de vainas en comparación con el testigo. Todos estos tratamientos fueron agrupados en el grupo A, lo que indica que no hubo diferencias significativas entre ellos en términos del número de vainas. Esto indica que todos los tratamientos biológicos tuvieron efectos similares y altamente positivos en la formación de vainas en las plantas de haba.

Por otro lado, el tratamiento *Rhizobium* + *Azotobacter* - *Azospirillum* (T6), que excluye la aplicación de *Azospirillum*, fue agrupado en el grupo B. Esto indica que esta combinación específica puede tener un efecto ligeramente menor en la formación de vainas en comparación con los otros tratamientos, pero sigue siendo significativamente más efectiva que el testigo

**Tabla 13**

*Análisis de varianza (ANOVA) para el número de vainas por efecto de la fertilización biológica (Datos transformados con  $\sqrt{x}$ ).*

<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	0.00	2.00	0.00	0.00	1.00
Tratamientos	3.44	6.00	0.57	327.74	<0.0001
Error	0.02	12.00	0.00		
Total	3.46	20.00			

CV = 0.48 %

*Nota.* La tabla muestra el ANOVA para número de vainas, donde se determina la diferencia estadística entre tratamientos, debido a que presentan un p-valor menor a 0.05.

**Tabla 14**

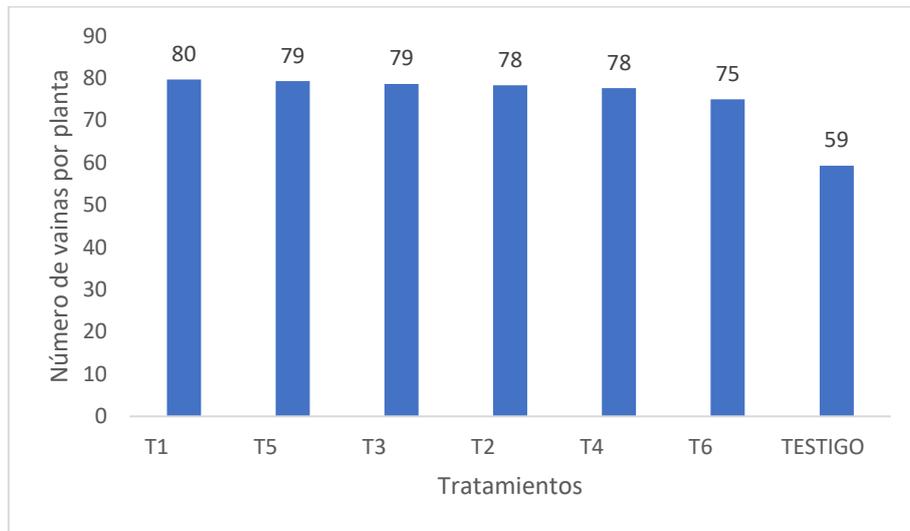
*Prueba de Tukey para el número de vainas por efecto de la fertilización biológica.*

<b>Tratamientos</b>	<b>Número de vainas por planta</b>	<b>Agrupación</b>
T1	80	A
T5	79	A
T3	79	A
T2	78	A
T4	78	A
T6	75	B
Testigo	59	C

*Nota.* La tabla muestra la prueba de Tukey al 0.05, que permite comparar los tratamientos en estudio y determinar el mejor tratamiento para número de vainas.

## Figura 6

*Medias del número de vainas por planta de haba por tratamiento*



*Nota.* En la figura se muestra número de vainas por planta de haba, de acuerdo con los tratamientos en estudio.

#### 4.1.5. Peso de vainas

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar el peso de las vainas reveló que la fuente de variación "bloques" no demostró significancia estadística ( $p$ -valor = 0.45), dado que este valor excede el nivel de significancia establecido del 5%. Esto indica que no hay diferencias significativas en el peso de las vainas entre los bloques utilizados en el estudio, lo que sugiere que los bloques no influyeron de manera significativa en la diferencia observada en el peso de las vainas.

Por otro lado, los resultados para la fuente de variación "tratamientos" fueron altamente significativos ( $p$ -valor =  $< 0.0001$ ), indicando que existen diferencias significativas entre los tratamientos en términos del peso de las vainas observadas. Esto indica que los distintos tratamientos aplicados mostraron un efecto significativo en el peso de las vainas y tuvieron un impacto diferenciado en el desarrollo de este aspecto específico del cultivo de haba.

El coeficiente de variación (CV) para el peso de vainas fue de 3.79 %, el cual es bajo e indica la variabilidad del peso de vainas dentro de cada tratamiento. Además, indica que el diseño empleado fue adecuado y que los datos denotan confiabilidad.

Según la prueba de Tukey (Tabla 15), todos los tratamientos, incluyendo *Rhizobium* (T1), *Rhizobium* + *Azospirillum* (T5), *Azospirillum* (T3), *Azotobacter* (T2), y *Rhizobium* + *Azotobacter* (T4), mostraron un peso significativamente mayor de vainas por planta en comparación con el testigo (0.47 kg) que fue agrupado en el grupo C. Estos tratamientos fueron agrupados en el grupo A, lo que indica que no hubo diferencias significativas entre ellos en términos del peso de las vainas. Esto sugiere que cada uno de estos tratamientos promovió un incremento significativo en el peso de las vainas en comparación con el cultivo sin tratamiento.

Por otro lado, el tratamiento *Rhizobium* + *Azotobacter* - *Azospirillum* (T6) fue agrupado en el grupo B, mostrando un peso de vainas ligeramente menor en comparación con los tratamientos del grupo A, pero aun significativamente mayor que el testigo. Esto sugiere que esta combinación específica puede tener un efecto ligeramente menor en el peso de las vainas en comparación con otros tratamientos, pero sigue siendo significativamente más efectiva que el cultivo sin tratamiento.

**Tabla 15**

*Análisis de varianza (ANOVA) para el peso de vainas por efecto de la fertilización biológica.*

<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	0.00	2.00	0.00	0.86	0.45
Tratamientos	0.50	6.00	0.08	85.78	<0.0001
Error	0.01	12.00	0.00		
Total	0.51	20.00			

CV = 3.79 %

*Nota.* La tabla muestra el ANOVA para el peso de vainas, donde se determina la diferencia estadística entre tratamientos, debido a que presentan un p-valor menor a 0.05.

**Tabla 16**

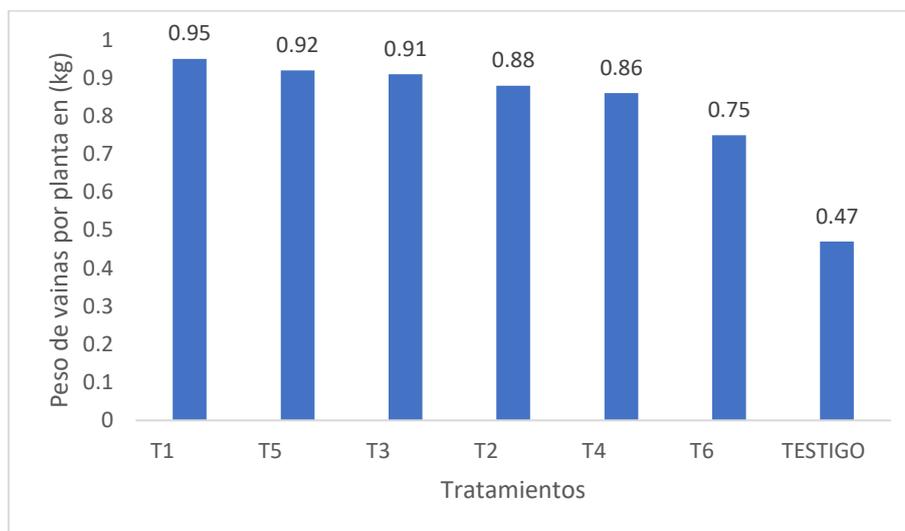
*Prueba de Tukey para el peso de vainas por efecto de la fertilización biológica.*

<b>Tratamientos</b>	<b>Peso de vainas por planta (kg)</b>	<b>Agrupación</b>
T1	0.95	A
T5	0.92	A
T3	0.91	A
T2	0.88	A
T4	0.86	A
T6	0.75	B
Testigo	0.47	C

*Nota.* La tabla muestra la prueba de Tukey al 0.05, que permite comparar los tratamientos en estudio y determinar el mejor tratamiento para el peso de vainas.

## Figura 7

Medias del peso de vainas por planta de haba por tratamiento



*Nota.* En la figura se muestra el peso de vainas por planta de haba, de acuerdo con los tratamientos en estudio.

### 4.2. Discusiones

Los resultados de la investigación "Efecto de la fertilización biológica en el rendimiento del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en Bambamarca – Cajamarca, 2023" muestran que la fertilización biológica tiene un impacto significativo en diversas características del cultivo de habas, como el rendimiento, la altura de la planta, el número de macollos, el número de vainas y el peso de las vainas. Estos resultados son consistentes con varios antecedentes que muestran cómo la inoculación con diferentes tipos de bacterias beneficiosas puede mejorar el crecimiento y la productividad de diversas leguminosas.

El estudio realizado por Casas et al. (2019) sobre la respuesta de la soya a la inoculación con *Azospirillum* y *Bradyrhizobium* indica que la inoculación con bacterias puede aumentar el peso de las raíces y los nódulos en comparación con el control. Este hallazgo es coherente con los resultados del presente estudio, donde se observa un aumento significativo en el rendimiento de habas y el número de vainas debido a la fertilización biológica.

Brenes y Peña (2021) demostraron que la inoculación de arvejas con *Azotobacter* aumentó significativamente la cantidad de nitrógeno fijado por las plantas, lo que favoreció su crecimiento y desarrollo. Este resultado respalda la idea de que las bacterias beneficiosas

pueden mejorar la productividad de los cultivos de leguminosas, como se observó en el presente estudio con el aumento del número de macollos y el peso de las vainas en habas.

Gonzales y Alcarraz (2019) encontraron que la aplicación de un biofertilizante a base de *Rhizobium* y *Azotobacter* mejoró el crecimiento y la biomasa de tarwi y frijol caupí en comparación con el control. Este resultado es consistente con los hallazgos del presente estudio, donde se observó un aumento significativo en el rendimiento de habas y el número de vainas debido a la fertilización biológica con *Rhizobium* y *Azotobacter*.

El estudio realizado por Chávez y Pérez (2022) mostró que la inoculación de *Phaseolus vulgaris* con *Rhizobium* aumentó el número de nódulos por planta, el número de vainas por planta y el rendimiento en comparación con las plantas no inoculadas. Estos resultados son similares a los hallazgos del presente estudio, donde se observó un aumento significativo en el número de macollos, el número de vainas y el rendimiento de habas debido a la fertilización biológica con *Rhizobium*.

En cuanto al estudio de Escalante (2018), que investigó los efectos del sistema de siembra y del tipo de abono en la producción de arvejas, aunque no se menciona la inoculación con bacterias beneficiosas, sus hallazgos resaltan la importancia de considerar diferentes prácticas agrícolas para mejorar el rendimiento de los cultivos de leguminosas, lo cual es coherente con la idea de utilizar fertilizantes biológicos para promover un crecimiento más saludable y productivo de las plantas.

Los resultados de la investigación sobre el efecto de la fertilización biológica en el rendimiento del cultivo de haba están respaldados por varios antecedentes que muestran cómo la inoculación con bacterias beneficiosas puede mejorar el crecimiento y la productividad de diferentes leguminosas. Estos hallazgos sugieren que la fertilización biológica puede ser una estrategia efectiva y sostenible para mejorar la producción agrícola, reducir la dependencia de fertilizantes químicos y promover prácticas agrícolas más amigables con el medio ambiente.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

La inoculación con *Rhizobium* (T1) mostró el mayor efecto positivo en el rendimiento del cultivo de haba, alcanzando un valor de 39,601.01 kg/ha<sup>-1</sup> de habas verdes; este tratamiento también presentó la mayor altura de planta (1.45 m), el mayor número de macollos (9 por planta), 80 vainas por planta y un peso promedio de vainas de 0.95 kg, superando significativamente al testigo en todas las variables evaluadas.

El tratamiento con *Azospirillum* (T3) también tuvo un efecto significativamente positivo sobre el rendimiento, con 37,847.52 kg/ha<sup>-1</sup>, situándose entre los tratamientos más eficientes; además, alcanzó una altura de planta de 1.43 m, un promedio de 8 macollos por planta, 79 vainas por planta y un peso de vainas de 0.91 kg.

El tratamiento con *Azotobacter* (T2) registró un rendimiento de 36,562.79 kg/ha<sup>-1</sup>, con una altura de planta de 1.36 m, 8 macollos por planta, 78 vainas y un peso de vainas de 0.88 kg; aunque estos valores fueron inferiores a los obtenidos con *Rhizobium* y *Azospirillum*, el tratamiento superó significativamente al testigo (19,739.74 kg/ha<sup>-1</sup>).

Respecto a las combinaciones bacterianas, la mezcla de *Rhizobium* con *Azospirillum* logró uno de los rendimientos más altos (38,455.17 kg/ha), indicando una buena interacción entre ambos microorganismos; en cambio, la combinación de *Rhizobium* con *Azotobacter* mostró un efecto positivo, pero menos marcado (35,955.15 kg/ha); por último, la combinación de las tres bacterias (*Rhizobium* + *Azotobacter* + *Azospirillum*) obtuvo el menor rendimiento entre los tratamientos con biofertilizantes (31,198.17 kg/ha), lo que indica que su efecto conjunto podría no ser aditivo ni sinérgico bajo las condiciones del estudio.

#### 5.2. Recomendaciones

Se recomienda considerar el uso de inoculantes bacterianos en los cultivos de haba, especialmente aquellos que contienen *Rhizobium*, *Azospirillum* y *Azotobacter*; estos inoculantes pueden ayudar a mejorar el rendimiento de las plantas de haba al promover el

crecimiento y desarrollo saludable de las mismas, así como al aumentar la disponibilidad de nutrientes esenciales, como el nitrógeno.

Se debe seleccionar los inoculantes bacterianos adecuados en función de las condiciones específicas del suelo y del cultivo; se recomienda realizar pruebas previas para determinar cuáles son las combinaciones de bacterias más efectivas para mejorar el rendimiento del haba en un determinado campo.

Se debe prestar atención a la época y la forma de aplicación de los inoculantes bacterianos; se recomienda aplicar los inoculantes durante la siembra o poco después, para garantizar una colonización efectiva de las raíces de las plantas de haba.

Se sugiere monitorear regularmente el crecimiento y desarrollo de las plantas de haba después de la aplicación de los inoculantes bacterianos; si es necesario, se pueden realizar ajustes en la dosis o en la combinación de bacterias utilizadas para optimizar los resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Afanador Barajas, L. (2017). Biofertilizantes: conceptos, beneficios y su aplicación en Colombia.
- Agronomía. (2007). Requerimientos de fertilización del cultivo de haba (*Vicia faba*). Disponible en: <http://agroingeniero.blogspot.com.co/2007/09/requerimientos-de-fertilizacin-del.html>
- Aguado, G. (2012) Introducción al uso y manejo de los fertilizantes en la agricultura. México. INIFAP/SAGARPA. México. pp. 1-19.
- Aquino, E. (2020). Microorganismos eficaces (EM) en el rendimiento del cultivo de habas (*Vicia faba*) variedad señorita en condiciones edafoclimáticos de panao, pachitea. Universidad Naconal Hermilio Valdizan. Revista Investigación Agraria. 2020;2(2): 49-55. <https://revistas.unheval.edu.pe/index.php/reina/article/view/843/724>
- Araujo, R. y Estrada, G. (2019). Determinación del periodo crítico en el cultivo de haba. México. Universidad Autónoma Del Estado De México. Tesis de pregrado. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/98815/TESIS%20Versi%c3%b3n%20Final-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bellido L, Betran, Loveras J, Catala M, Ramos A, Lopez H, Lopez P, Valero J, Bermejo J, Urbano P, Piñeiro J, Castro J, Blazquez R. (2011). Guía práctica de la fertilización racional de 46 los cultivos en España. Edita Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2º Edición. España. 163 – 167 pp.
- Berendsen, R. L., Pieterse, C. M. & Bakker, P. A. (2012). The rhizosphere microbiome and plant health. Trends Plant Sci, 17(8), 478-486. doi: 10.1016/j.tplants.2012.04.001.
- Bhattacharya, A. (2019). Chapter 4—Nitrogen-Use Efficiency Under Changing Climatic Conditions. En A. Bhattacharya (Ed.), Changing Climate and Resource Use Efficiency in Plants (pp. 181-240). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816209-5.00004-0>

- Biofertilizantes. (2021). AEFA- Asociación Española De Fabricantes De Agronutriente. Obtenido de <https://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/biofertilizantes>
- Brenes, P. y Peña, W. (2021). Fijación biológica de nitrógeno en arveja (*Pisum spp*) mediante técnicas isotópicas del N15, en un suelo andisol, Llano Grande Cartago, Costa Rica. *Repertorio Científico*, 24(2), 1–7. <https://doi.org/10.22458/rc.v24i2.3887>
- Casas, M. A.; Pérez, J.; Jerez, F.; Fajardo, S.; Morcillo, C. M.; Fernández, M. (2019). Respuesta de soya (*Glycine max L. Merr*) a la inoculación con *Azospirillum* y *Bradyrhizobium*. *Cultivos Tropicales*, 40(1), e02. Recuperado en 10 de mayo de 2023, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362019000100002&lng=es&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362019000100002&lng=es&tlng=pt)
- Cerrate, V.A. (1981). Cultivo de Habas (*Vicia Faba L.*). Departamento de la Fitotecnia. Proyecto de Menstras. UNALM. Lima, Perú
- Chávez, L. D. y Pérez, J. L. Colecta e inoculación de *Rhizobium* sp. asociados a raíces de *Phaseolus vulgaris* (frejol) en un suelo entisol de la localidad de Nueva Requena – Pucallpa. Universidad Nacional Intercultural De La Amazonía. Amazonas, Perú. Tesis en línea. [http://51.222.120.98/bitstream/unia/302/1/T084\\_76967583\\_T.pdf](http://51.222.120.98/bitstream/unia/302/1/T084_76967583_T.pdf)
- Crepón, K., Marget, P., Peeyronnet, C., Carrouée, B., Arese, P., Duc, G. (2010). Nutritional value of Faba Bean (*Vicia faba L.*) seed for feed and food. *Field Crops Research* 115: 329-339.
- Cruz Hernández, M., Mendoza Herrera, A., Bocanegra García, V., & Rivera, G. (2020). *Azospirillum* spp. desde las bacterias promotoras del crecimiento vegetal hasta su uso en biorremediación. *Revista MDPI*.

- Cudrado, B., Rubio, G., Santos, W. 2019. Caracterización de cepas de *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* (con capacidad de nodulación) seleccionados de un cultivo de Frejol caupi (*Vigna unguiculata*) como bioinoculos potenciales.
- EOS Data Analytic. 2022. Fijación biológica de nitrógeno. Plantas y bacterias. En: <https://eos.com/es/blog/fijacion-biologica-de-nitrogeno/>
- Escalante Sánchez, R. M. (2018). Efectos del sistema y abono en la producción de arveja (*Pisum sativum* L.) grano verde (Fresca). Cajamarca.
- Espinoza, M. E. (2017). Cultivo de haba *Vicia faba* L. Agricultura Andina Inka. Recuperado de: <http://edgarespinozamontesinos.blogspot.com/2017/09/cultivo-de-habascomo-alternativa-para.html>
- Espinoza J.; Molina E. (1999). Acidez y encalado de los suelos. International Plant Nutrition Institute. 1ra edición.
- Enjamio, L.; Rodríguez, P.; Valero, T.; Ruiz, E. Ávila, J. M.; Varela, G. (2017). Informe sobre legumbres, nutrición y salud. Fundación Española de la Nutrición (FEN). España. <https://www.fen.org.es/storage/app/media/imgPublicaciones/informe-legumbres-nutricion-y-saludvw.pdf>
- FAOSTAT. (2018). Legumbres. Pequeñas semillas, grandes soluciones. Ciudad de Panamá. 292 páginas. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Disponible en línea: <https://www.fao.org/3/ca2597es/CA2597ES.pdf>. consultado: marzo de 2023.
- 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 para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de San Martín Tarapoto. 78p.
- Gonzales, E. Y. y Alcaraz, M. (2019). Evaluación de un biofertilizante (*Azotobacter* y *Rhizobium*) para tarwi y frijol caupí como alternativa ambiental a la fertilización

nitrogenada. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. Tesis en línea.  
<http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10602>

Gothandapani, S., Sekar, S., Padaria, J. (2017). *Azotobacter chroococcum*: Utilization and potential use for agricultural crop production: An overview. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*. 4(3) 35-42. India.

Guamán, F. 2020. Aislamiento y caracterización de Rizobios de *Crotalaria* sp en el Sur de Ecuador. *Cultivos tropicales*. Vol 37. P del 40-47. Link:  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362016000100006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000100006)

Herridge, D.; M. Peoples; Boddey, R. (2008). Global input of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant Soil* 311:1-18.

Horque, F (1995) Cultivo de haba- Instituto Nacional de Investigación Agrícola. INIA, Estación Experimental Andenes. Cuzco.  
[http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/740/2/HorqueCultivo\\_del\\_Haba.pdf](http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/740/2/HorqueCultivo_del_Haba.pdf)

Hungría, M., Andrade, D., Chueire, L., Probanza, A., Gutierrez-Mañero. F., and Megías, M. (2000). Isolation and characterization of new efficient and competitive vean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizobia from Brasil. *Soil Biology and Biochemistry* 32:1515-1528.

Ibarra Kocfú, J., Llica Flores, W. y Lazo Ramos, S. (2021). Determinación de la influencia de *Azotobacter* nativos en cultivo de *Raphanus sativus* como biofertilizante. Tacna- Perú.

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2008). Cultivo de haba (*Vicia faba*). Guía técnica de cultivos, (73), 46-47.

Labbé, S. (2008). Caracterización molecular de aislados silvestres de *Rhizobium* sp. Y evaluación de la eficiencia de fijación simbiótica de nitrógeno en plantas de poroto. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile.

- Liñán, C. E.; Vázquez J. A. (2021). Compuestos fenólicos en germinados de haba (*Vicia faba* L.) y su efecto antiadipogénico in silico. Universidad Autónoma De Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México. Tesis de maestría en línea. <http://eprints.uanl.mx/22194/1/1080315270.pdf>
- López, R. M. (2013). Tecnología de producción del cultivo de haba para el Estado de México. Instituto de Investigación y capacitación Agrícola, Acuícola y Forestal del estado de México. México:
- Marks, B.B.; Megías, M.; Nogueira, M. A.; Hungria, M. (2013). Biotechnological potential of rhizobial metabolites to enhance the performance of *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* inoculants with soybean and maize. *AMB Express*. 3(1):21. doi:10.1186/2191-0855-321
- Martínez, E. 2019. Poblaciones de Rhizobia nativas de México. Centro de investigación sobre la fijación de nitrógeno, UNAM. Edición actualizada. Cuernavaca, Morelos, México. Link: <http://www.acuedi.org/ddata/2220.pdf>
- Nadal, S., Moreno, M. & Cubero, J. (2004). Las leguminosas grano en la agricultura moderna. Mundi Prensa, 317-318.
- Naqqash, T., Hameed, S., Imran, A., Hanif, M. K., Majeed, A. & van Elsas, J. D. (2016). Differential Response of Potato Toward Inoculation with Taxonomically Diverse Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *Front Plant Sci*, 7,144. doi:10.3389/fpls.2016.00144.
- Nehra, V., Saharan, B. S. & Choudhary, M. (2016). Evaluation of *Brevibacillus brevis* as a potential plant growth promoting rhizobacteria for cotton (*Gossypium hirsutum*) crop. *Springerplus*, 5(1), 948. doi:10.1186/s40064-016-2584-8.
- Peoples, M.; D. Herridge y LADHA, J. (1995). Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production *Plant Soil* 174:2-28.
- Peralta, E.; Cevallos, E.; Vásquez, J.; Pinzón, J. (1994). Guía para el cultivo de haba. Estación Experimental Agrícola Santa Catalina. Boletín Divulgativo. Quito, Ecuador. 240-16.

- Porter, E. (2000). El nitrógeno en la Lluvia Nacional. Dirección de pesca. Documento de la NADP EEUU.
- Pucaa, M.; Gonzalesa, E. Y., Jayosa, E. E.; Llanos, K.N. (2021). Estudio comparativo de los parámetros de crecimiento de plantas de frijol caupí inoculados con *Azotobacter* sp y urea. Facultad de Ingeniería. Universidad San Ignacio de Loyola. Disponible en: <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/411476/506415>
- Reynoso Zárate, A., Cosme De La Cruz, R., Adamas Rojas, E., Juscamaita Morales, J., & Quispe Huincho, M. (2022). Produccion de Biofertilizante Liquido Acelerado. Perú.
- Riobo López, N. d. (2022). Los biofertilizantes, una estrategia didáctica para el desarrollo de competencias científicas en grado octavo. Bogotá.
- Rojas, D. 2018. Tesis: Estandarización de un medio de cultivo complejo para la multiplicación de la Cepa C50 de *Rhizobium* sp. Universidad Pontificia Javeriana. Bogotá, Colombia. 122 p.
- Ruiz, M. 2003. Alameda: Un modelo estructural-funcional del cultivo del haba *Vicia faba* L. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 73 Departamento de producción vegetal. Tesis en línea. <http://oa.upm.es/521/1/02200315.pdf>
- Souza, R.; Ambrosini; A.; Passaglia, L. M. P. (2015). Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*. 38(4):401–19. doi:10.1590/S1415-475738420150053
- Tjalling, H.H. 2017. Guía de manejo Nutricional Vegetal de Especialidad Tomate: Siembra.1 ed. Australia. Universidad de Adelaida. 84 p. Link: [http://www.sqm-vitas.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop\\_Kit\\_Tomato\\_L-ES.pdf](http://www.sqm-vitas.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop_Kit_Tomato_L-ES.pdf)
- 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 para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Ucayali. Pucallpa. Perú. 86 p.

Turco, I., Ferretti, G., & Bacchetti, T. (2016). Review of the health benefits of Faba bean (*Vicia faba* L.) polyphenols. *J. Food Nutr. Res.*, 55, 11.

Urzua, H. 2005. Beneficios de la Fijación Simbiótica de Nitrógeno en Chile. *Ciencias e Investigación Agraria* 32(2):133-150.

Valero, T.; Rodríguez P.; Ruiz, E.; Ávila, J. M.; Varela, G. (2018). La alimentación española: Características nutricionales de principales alimentos de nuestra dieta. Madrid, España. <https://www.fen.org.es/storage/app/media/imgPublicaciones/2018/libro-la-alimentacion-espanola.pdf>

Verma, I. P.; Yadav, I.; Tiwari. K. N.; Lavakush, Singh. V. (2010). Impact of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Crop Production. *International Journal of Agricultural Research*. 5(11):954-983. India.

Yepis, O., fundora, O., Pereira, C. y Crespo, T. (1999) La contaminación ambiental por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo del tomate *Scientia Gerundensis*. 24: 5-12.

Zahid, M., Abbasi, M. K., Hameed, S. & Rahim, N. (2015). Isolation and identification of indigenous plant growth promoting rhizobacteria from Himalayan region of Kashmir and their effect on improving growth and nutrient contents of maize (*Zea mays* L.). *Front Microbiol*, 6, 207. doi:10.3389/fmicb.2015.00207.

## ANEXOS

**Figura 8**

*Resultados del análisis de suelo.*



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : MARCO JOSE LUIS CRUZADO SANCHEZ

Departamento : CAJAMARCA  
 Distrito : BAMBAMARCA  
 Referencia : H.R. 81598-258C-23

Bolt.: 6241

Provincia : HUALGAYOC  
 Predio :  
 Fecha : 10/04/2023

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena	Limo	Arcilla			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
17067		7.74	1.01	28.61	3.00	14.3	253	34	23	43	Ar.	13.60	10.98	1.86	0.61	0.15	0.00	13.60	13.60	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Francó ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



*Lily Tello Peramás*  
 Jefa del Laboratorio

**Figura 9**

*Productos utilizados en la fertilización biológica.*



**Figura 10**

*Semilla de haba utilizadas en el experimento.*



**Figura 11**

*Microrganismos utilizados en la fertilización biológica.*



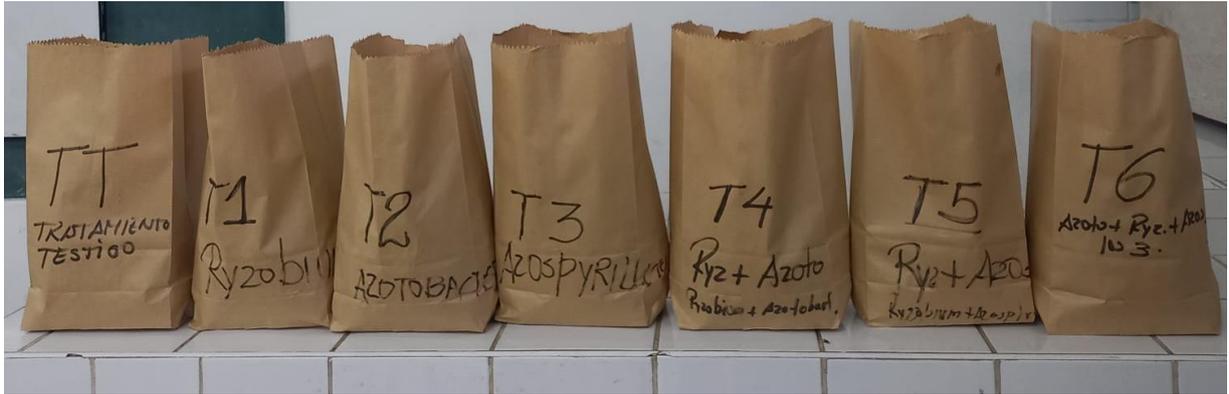
**Figura 12**

*Inoculación de las semillas de haba.*



**Figura 13**

*Tratamientos para traslado a campo experimental.*



**Figura 14**

*Siembra del cultivo de haba.*



**Figura 15**

*Germinación del cultivo de haba.*



**Figura 16**

*Desarrollo del cultivo.*



**Figura 17**

*Floración del cultivo.*



**Figura 18**

*Evaluación de madurez para cosecha de haba verde.*



**Figura 19**

*Evaluación de altura de planta de haba.*



**Figura 20**

*Evaluación del número de macollos.*



**Figura 21**

*Evaluación del número de vainas.*



**Figura 22**

*Evaluación de rendimiento de haba verde.*

