



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

## Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

### Carrera de Ingeniería Agronómica

## Efecto de la aplicación de microorganismos benéficos sobre parámetros productivos y económicos del cultivo de fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en el sector La Argelia, Loja

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo

**AUTORA:**

Cristina Marisol Correa Ullauri

**DIRECTOR:**

Ing. Klever Iván Granda Mora PhD.

Loja – Ecuador

2022



Universidad  
Nacional  
de Loja

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE  
RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AGRONOMIA

## CERTIFICACIÓN

Loja, 29 de agosto de 2022

Ing. Klever Iván Granda Mora, PhD

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

## CERTIFICO

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Efecto de la aplicación de microorganismos benéficos sobre parámetros productivos y económicos del cultivo de fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en el sector La Argelia, Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agrónomo**, de la autoría de la estudiante **Cristina Marisol Correa Ullauri**, con **cédula de identidad Nro. 1150012498**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



firmado electrónicamente por:  
**KLEVER IVAN  
GRANDA MORA**

Ing. Klever Iván Granda Mora, PhD  
**DOCENTE DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

## AUTORÍA

Yo, **Cristina Marisol Correa Ullauri**, declaro ser la autora del presente TRABAJO DE TITULACIÓN y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes Jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



**Autor:** Cristina Marisol Correa Ullauri

**Cédula:** 1150012498

**Fecha:** 14 de noviembre de 2022

**Correo electrónico:** cristina.correa@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0969493557

**CARTA DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTORA, PARA CONSULTA,  
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y/O PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL  
TEXTO COMPLETO, DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.**

Yo, **Cristina Marisol Correa Ullauri**, declaro ser el autor del Trabajo de Titulación denominado: **“Efecto de la aplicación de microorganismos benéficos sobre parámetros productivos y económicos del cultivo de fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en el sector La Argelia, Loja”** como requisito para optar al grado de **Ingeniero Agrónomo**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los catorce días del mes de noviembre de dos mil veintidós.

**Firma:**



**Autora:** Cristina Marisol Correa Ullauri

**Cédula:** 1150012498

**Dirección:** Esteban Godoy

**Correo electrónico:** cristina.correa@unl.edu.ec

**Celular:** 0969493557

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de trabajo de Titulación:** Ing. Klever Iván Granda Mora PhD

## **DEDICATORIA**

A mi director de Trabajo de Titulación Ing. Klever Iván Granda Mora *PhD.* por su orientación y su conocimiento que me impartió en este proyecto y en toda la carrera universitaria

Dedico mi trabajo de investigación a mis padres Raúl Correa y María Ullauri, y mis hermanos Jairo Correa y Lady Correa quienes con su ejemplo de perseverancia, esfuerzo y valentía; permitieron que yo pueda lograr este triunfo.

A mis amigos incondicionales que han estado a mi lado en todo momento de mi vida por sus consejos de superación, apoyo incondicional y ser un pilar muy importante en mi vida, infinitas gracias.

Por último, a una persona especial, mi abuelito Alberto Castillo, aunque ya no esté a mi lado, sé que se hubiese sentido muy orgulloso de mí, como un día lo dije “también va por ti”.

Es por ello que el presente trabajo de investigación está dedicado a quienes me apoyaron no solo en mi carrera estudiantil sino a lo largo de toda mi vida.

*Cistina Marisol Correa Ullauri*

## **AGRADECIMIENTO**

A mi asesor de Trabajo de Titulación Ing. Klever Iván Granda Mora *PhD.* por su dirección y apoyo constante durante todo el desarrollo de esta investigación.

También quiero agradecer a la Universidad Nacional de Loja, y en especial a la carrera de Ingeniería Agronómica quien me abrió las puertas y me formó académica y profesionalmente; a los docentes por el apoyo brindado a lo largo de mi formación académica, por sus conocimientos y experiencia siendo transmitidos a lo largo de mi vida universitaria.

A mis padres Raúl Correa y María Ullauri por su gran amor y apoyo incondicional hacia mí, por sus sabios consejos, su dedicación y por enseñarme a valorar las cosas que han hecho por mí; a mis hermanos Jairo Correa y Lady Correa por su amor y ayuda incondicional y sus palabras de ánimo cada día y a mis amigos incondicionales que han estado a mi lado en todo momento de mi vida y me han alentado con sus palabras.

*Cistina Marisol Correa Ullauri*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>PORTADA</b> .....	i
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	ii
<b>AUTORÍA</b> .....	iii
<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b> .....	iv
<b>DEDICATORIA</b> .....	v
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	x
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xii
<b>INDICE DE ANEXOS</b> .....	xiii
<b>1. TÍTULO</b> .....	1
<b>2. RESUMEN</b> .....	2
<b>2.1. ABSTRACT</b> .....	3
<b>3. INTRODUCCIÓN</b> .....	4
3.1. Objetivo general .....	5
3.2. Objetivos específicos .....	5
<b>4. MARCO TEÓRICO</b> .....	6
4.1. Generalidades del fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) .....	6
4.1.1. <i>Importancia</i> .....	6
4.1.2. <i>Clasificación taxonómica</i> .....	6
4.1.3. <i>Morfología del fréjol</i> .....	6
4.1.4. <i>Ciclo vegetativo</i> .....	7
4.1.5. <i>Requerimientos nutricionales</i> .....	8
4.1.6. <i>Requerimientos edafoclimáticos</i> .....	9
4.1.6.1. Suelo .....	9
4.1.6.2. Clima .....	9
4.2. Nitrógeno y su fijación en leguminosas .....	10

4.2.1.	<i>Importancia del nitrógeno</i>	10
4.2.2.	<i>Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas</i>	10
4.2.2.1.	Proceso de nodulación en leguminosas.	11
4.2.2.2.	Microorganismos benéficos.	12
4.2.2.2.1.	Género <i>Rhizobium</i> .	12
4.2.2.2.2.	Género <i>Bacillus</i> .	13
4.2.2.2.3.	Género <i>Pseudomonas</i> .	14
4.2.3.	<i>Uso de microorganismos benéficos en la agricultura</i>	15
4.3.	Fertilización química	15
5.	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	17
5.1.	Materiales	17
5.2.	Métodos	17
5.2.1.	<i>Localización del estudio</i>	17
5.2.2.	<i>Metodología general</i>	18
5.2.2.1.	Diseño experimental.	18
5.2.2.2.	Manejo del experimento.	20
5.2.2.2.1.	Análisis de suelo.	20
5.2.2.2.2.	Delimitación del área y preparación del suelo.	21
5.2.2.2.3.	Preparación de insumos.	21
5.2.2.2.4.	Siembra y riego.	22
5.2.2.2.5.	Control de plantas arvenses y aporque.	22
5.2.2.2.6.	Control de plagas y enfermedades.	22
5.2.2.2.7.	Toma de datos y cosecha.	22
5.2.3.	<i>Metodología para cada objetivo</i>	23
5.2.3.1.	Metodología para el primer objetivo.	23
5.2.3.2.	Metodología para el segundo objetivo.	25
5.2.4.	<i>Análisis estadístico</i>	26
6.	<b>RESULTADOS</b>	27
6.1.	Resultados para el primer objetivo	27
6.2.	Resultados para el segundo objetivo	35
6.3.	Correlación entre los parámetros evaluados	36

7.	<b>DISCUSIÓN</b> .....	38
7.1.	Discusión para el primer objetivo .....	38
7.2.	Discusión para el segundo objetivo .....	43
7.3.	Análisis de correlación entre los parámetros evaluados .....	44
8.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	46
9.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	47
10.	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	48
11.	<b>ANEXOS</b> .....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Etapas de desarrollo vegetativo en un cultivo de fréjol común.....	8
<b>Tabla 2.</b> Etapas reproductivas en un cultivo de fréjol común. ....	8
<b>Tabla 3.</b> Exigencias minerales del fréjol. ....	9
<b>Tabla 4.</b> Características de la unidad experimental. ....	19
<b>Tabla 5.</b> Tratamientos, productos y dosis de aplicación.....	20
<b>Tabla 6.</b> Contenido de nitrógeno total fijado por cada tratamiento base fresca y seca en fréjol común.....	34
<b>Tabla 7.</b> Análisis económico entre la aplicación de microorganismos benéficos con respecto a la utilización de fertilización química. ....	35
<b>Tabla 8.</b> Coeficientes de correlación de Pearson entre los diferentes parámetros evaluados durante el ciclo del cultivo. ....	36
<b>Tabla 9.</b> Extracción de nutrientes del cultivo de fréjol, disponibilidad y eficiencia de gravedad. 69	
<b>Tabla 10.</b> Plan de fertilización con sus respectivas dosificaciones y fraccionamientos.....	71
<b>Tabla 11.</b> Promedios de evaluación para las variables fenológicas, en el cultivo de fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.). ....	72
<b>Tabla 12.</b> Promedios de evaluación para los parámetros de nodulación en el cultivo de fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.). ....	72
<b>Tabla 13.</b> Promedios de evaluación de los parámetros de crecimiento en el cultivo de fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.). ....	73
<b>Tabla 14.</b> Promedios de evaluación de los componentes de rendimiento en el cultivo de fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.). ....	74
<b>Tabla 15.</b> Promedios de evaluación del rendimiento agrícola en el cultivo de fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.). ....	74
<b>Tabla 16.</b> Costo de producción del T2 ( <i>Bacillus</i> ).....	75
<b>Tabla 17.</b> Costo de producción del T3 ( <i>Rhizobium</i> ).....	76
<b>Tabla 18.</b> Costo de producción del T4 ( <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i> ).....	77
<b>Tabla 19.</b> Costo de producción del T5 ( <i>Rhizobium</i> + <i>Bacillus</i> ).....	78
<b>Tabla 20.</b> Costo de producción del T6 ( <i>Rhizobium</i> + <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i> ).....	79
<b>Tabla 21.</b> Costo de producción del T7 (Fertilización química).....	80
<b>Tabla 22.</b> Correlaciones entre las variables de estudio con un coeficiente de correlación de Pearson	

> 0,70 y con un p-valor < 0,05 .....81

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del área de estudio (Estación Experimental Docente “La Argelia”- UNL).	18
<b>Figura 2.</b> Croquis del diseño experimental de la investigación.....	19
<b>Figura 3.</b> Variables fenológicas, en el cultivo de fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	28
<b>Figura 4.</b> Número de nódulos a los 21 y 42 días, en el cultivo de fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.). .....	29
<b>Figura 5.</b> Porcentaje de germinación, en el cultivo de fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	30
<b>Figura 6.</b> Altura del cultivo de fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.), evaluados a los 15, 30 y 45 días.	30
<b>Figura 7.</b> Diámetro del tallo del cultivo de fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.), evaluados a los 15, 30 y 45 días. ....	31
<b>Figura 8.</b> Curva de regresión obtenida entre el ancho de la hoja y área foliar. ....	31
<b>Figura 9.</b> Área foliar del cultivo de fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	32
<b>Figura 10.</b> Longitud de vainas del cultivo de fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	32
<b>Figura 11.</b> Evaluación de los componentes de rendimiento de fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.): A) Número de vainas por planta, B) Número de granos por vaina, C) Peso de 100 semillas.....	33
<b>Figura 12.</b> Rendimiento agrícola de fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	34

## INDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1.</b> Fotografías .....	59
<b>ANEXO 2.</b> Análisis de suelo .....	66
<b>ANEXO 3.</b> Plan de fertilización .....	68
<b>ANEXO 4.</b> Dosis de cal agrícola en el encalado de corrección .....	71
<b>ANEXO 5.</b> Promedios de la Prueba de Tukey al 5% para las variables evaluadas en la investigación .....	72
<b>ANEXO 6.</b> Costo de producción del fréjol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) .....	75
<b>ANEXO 7.</b> Correlaciones entre las variables de estudio .....	81
<b>ANEXO 8.</b> Certificación de traducción Abstract .....	82

## **1. TÍTULO**

**“EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS SOBRE  
PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y ECONÓMICOS DEL CULTIVO DE FRÉJOL  
COMÚN (*Phaseolus vulgaris* L.) EN EL SECTOR LA ARGELIA, LOJA”**

## 2. RESUMEN

Los problemas que limitan la producción y el rendimiento de fréjol se deben a pérdidas causadas por factores climáticos, baja fertilidad del suelo, poca aireación, alta incidencia de plagas y enfermedades, y falta de uso de semilla mejorada. Frente a esto, surgen nuevas estrategias, como es el uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos, sin embargo, estos incrementan el costo de producción, lo cual, el cultivo se vuelve poco rentable. Por lo tanto, este trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto que ejerce la aplicación de microorganismos benéficos sobre parámetros productivos y económicos del cultivo de fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en el sector La Argelia, Loja, para ello se evaluaron 7 tratamientos: T1 (Control absoluto), T2 (*Bacillus*), T3 (*Rhizobium*), T4 (*Pseudomonas* + *Bacillus*), T5 (*Rhizobium* + *Bacillus*), T6 (*Rhizobium* + *Pseudomonas* + *Bacillus*), T7 (Fertilización química). Se analizaron parámetros productivos y se estableció un análisis de los costos de producción. Como resultado el T6 acortó los días sobre las variables fenológicas, mayor número de nódulos, porcentaje de germinación, altura de la planta, área foliar, contenido de nitrógeno y rendimiento agrícola. El T7 influyó en la altura de la planta (30 y 45 días). Las variables diámetro, longitud de vainas, número de vainas por planta y número de granos por planta, no presentaron diferencias entre los tratamientos evaluados. Mediante el análisis económico se determinó que el T6 presentó los mayores ingresos, y una mayor rentabilidad frente a la fertilización química. Estos resultados muestran que la inoculación de microorganismos benéficos puede reemplazar el uso convencional de fertilizantes químicos.

**Palabras clave:** Microorganismos benéficos, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, fertilización química

## 2.1. ABSTRACT

The problems that limit beans production and yield are due to losses caused by climatic factors, low soil fertility, poor aeration, high incidence of pests and diseases, and lack of use of enhanced seeds. Facing this, new strategies arise as example we have the use of pesticides and synthetic fertilizers, however, these increase the cost of production, which makes the crop unprofitable. Therefore, this work aimed to determine the effect obtained by the application of beneficial microorganisms on productive and economic parameters of common bean cultivation (*Phaseolus vulgaris* L.) in the La Argelia, Loja, for which 7 treatments were evaluated: T1 (Absolute control), T2 (*Bacillus*), T3 (*Rhizobium*), T4 (*Pseudomonas* + *Bacillus*), T5 (*Rhizobium* + *Bacillus*), T6 (*Rhizobium* + *Pseudomonas* + *Bacillus*), T7 (Chemical fertilization). To study the effect on the productive parameters, the following variables were evaluated: phenological, nodulation, and growth parameters, yield components, nitrogen content, and agricultural yield. An analysis of the production costs was established, determining the profitability regarding different treatments except for the control treatment. As a result, T6 (*Rhizobium* + *Pseudomonas* + *Bacillus*) made the days shorter on the phenological variables, the greater number of nodules, germination percentage, plant height, leaf area, nitrogen content, and agricultural yield. T7 (chemical fertilization) influenced the plant height at 30 and 45 days. The variables diameter, length of pods, number of pods per plant, and number of grains per plant did not present differences between the treatments evaluated. Through economic analysis, it was determined that the triple interaction T6 (*Rhizobium* + *Pseudomonas* + *Bacillus*) presented the highest income, and higher profitability compared to chemical fertilization. These results show that the inoculation of beneficial microorganisms can replace the conventional use of chemical fertilizers.

**Keywords:** Beneficial Microorganisms, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, Chemical Fertilization

### 3. INTRODUCCIÓN

En Ecuador, el fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) es considerado el cultivo de mayor importancia económica, social y nutricional, debido a que forma parte de los granos básicos de la dieta diaria, principalmente por sus excelentes propiedades nutricionales (Gomes *et al.*, 2016). El consumo de fréjol por persona en Ecuador es de 4 kg/año, sin embargo, este valor puede superar los 40 kg en las zonas de mayor producción de fréjol del país (Valles del Chota y Mira) (Torres *et al.*, 2014). Así mismo, el fréjol es un alimento poco costoso para consumidores de bajos ingresos económicos que viven en zonas rurales y urbanas que no pueden acceder fácilmente a proteína de origen animal (Torres *et al.*, 2014). Debido a la creciente demanda de alimentos, uno de los desafíos que enfrenta la agricultura día a día es hacer uso más eficiente de los recursos, la cual se encuentra enfocada a la producción agrícola intensiva (Corrales *et al.*, 2017g).

Los fertilizantes químicos se han utilizado desde siempre para el sector agrícola; no obstante, el abuso en su aplicación ha generado residuos que producen salinización, problemas en el drenaje, compactación del suelo y disminución de la actividad microbiana que compromete a la nutrición vegetal, cada año se incrementan la cantidad de fertilizantes aplicados debido a la menor eficiencia de adsorción en el suelo y absorción por la planta, aumentando los costos de producción (Escobar *et al.*, 2011).

Como una alternativa a los fertilizantes químicos está el uso de biofertilizantes, en diferentes estudios en el sector agrícola han demostrado disminuir el uso de los fertilizantes químicos y a la par han incrementado los rendimientos de los cultivos, representando un impacto positivo sobre el ambiente (Chávez *et al.*, 2020; García *et al.*, 2020). Sin embargo, debido a que los pequeños y medianos productores no conocen los beneficios que estos brindan, no es muy empleado en la producción agrícola, por eso es necesario efectuar investigaciones que generen alternativas de producción bajo este enfoque (Coaquira *et al.*, 2018).

La actividad microbiológica es llevada a cabo por asociaciones mutualistas entre hongos y bacterias y de forma sinérgica Garzón, (2016), contribuyendo a promover el crecimiento vegetal y corregir la calidad del suelo: mejoran el estado nutricional de la planta al incrementar el volumen de exploración y funcionalidad de las raíces, la captación de agua, la disponibilidad y absorción de nutrientes y la fisiología de toda la planta Kumar, (2015), inhiben el crecimiento de

microorganismos patógenos Chávez *et al.* (2020), mejoran la estructura del suelo, especialmente los hongos mediante la formación y estabilización de agregados (porosidad y permeabilidad en todo lo relacionado con el flujo de agua y aireación del suelo) Parra, (2014), de igual manera los microorganismos tienen la capacidad de degradar agentes tóxicos como pesticidas (Morocho y Mora, 2019), por ejemplo, la actividad de las SPCV (sustancias promotoras de crecimiento vegetal) generadas por las BPCV (bacterias promotoras del crecimiento vegetal) mejoraron la eficiente y absorción de los nutrientes del suelo y con ello en el caso del fréjol presentó una mayor biomasa Sánchez *et al.* (2014), así mismo, se ha demostrado los beneficios de la aplicación de microorganismos para este cultivo incrementando el rendimiento hasta un 42 % (Calero y Olivera, 2014).

Es por ello, que la presente investigación brinda información pertinente y actual sobre nuevas formas de producción basada en una agricultura sostenible, mediante el uso de microorganismos benéficos con la finalidad de obtener productos de calidad, y durante el desarrollo del proceso permita mejorar la calidad del suelo, minimizar la contaminación por efecto de los agroquímicos y al mismo tiempo beneficiar al desarrollo económico del agricultor al disminuir los costos de producción.

Teniendo en cuenta lo antes expuesto y con la finalidad de cumplir el propósito de la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos:

### **3.1. Objetivo general**

Determinar el efecto que ejerce la aplicación de microorganismos benéficos sobre parámetros productivos y económicos del cultivo de fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en el sector La Argelia, Loja.

### **3.2. Objetivos específicos**

- ✓ Evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos benéficos sobre parámetros productivos del cultivo de fréjol común.
- ✓ Realizar un análisis económico comparativo entre la aplicación de microorganismos benéficos con respecto a la utilización de fertilización química.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. Generalidades del fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.)

#### 4.1.1. Importancia

El fréjol es una de las leguminosas más cultivadas a nivel mundial, ocupando el octavo lugar. Es un cultivo de gran importancia económica, nutricional y social, que permite generar ingresos en un 40 y 70 % a pequeños y medianos productores. En Ecuador, constituye el 0,84 % del total de superficie cultivable, formando parte de los 22 productos del agro más comercializados en el país. Además, es considerado un producto básico de la canasta familiar, tiene un alto valor nutritivo, rico en proteínas, carbohidratos, fibra, grasas, vitaminas y minerales, así mismo, es un alimento poco costoso para consumidores de bajos recursos económicos que no pueden acceder fácilmente a proteína de origen animal (Torres *et al.*, 2014; Moya *et al.*, 2019).

#### 4.1.2. Clasificación taxonómica

Valladares (2010), menciona al fréjol con la siguiente clasificación taxonómica: Reino Plantae, División Magnoliophyta, Clase Magnoliopsida, Subclase Rosidae, Orden Fabales, Familia Fabaceae, Subfamilia Faboideae, Tribu Phaseoleae, Subtribu Phaseolinae, Género *Phaseolus* y Especie *vulgaris*.

#### 4.1.3. Morfología del fréjol

Ospina y Debouck (1984) y FAO (2018) mencionan que la morfología del fréjol se divide en:

**Sistema radical:** El sistema radical está formado por la radícula del embrión, la cual posteriormente se convierte en la raíz principal de la planta. A los pocos días de la emergencia las raíces secundarias se desarrollan debido a un proceso de diferenciación, sobre ellas las raíces terciarias y otras subdivisiones como los pelos absorbentes. En las raíces laterales de la parte superior y media del sistema radical, se encuentran distribuidos los nódulos, siendo colonizados por bacteria del género *Rhizobium*.

**Tallo:** El tallo se origina del meristema apical del embrión de la semilla. Consta de varios nudos y entrenudos, dependiendo de la especie puede presentar un hábito de crecimiento erecto, semierecto,

semiprostrado o prostrado, pudiendo alcanzar de 30-90 cm de longitud.

**Hojas:** Los cotiledones constituyen el primer par de hojas, proveen de sustancias de reserva a la planta durante la germinación y emergencia. El segundo par y primeras hojas verdaderas, se desarrollan en el segundo nudo; son simples, opuestas y cortadas. A partir del tercer nudo se desarrollan las hojas compuestas, las cuales son alternas, de tres folíolos, un peciolo y un raquis.

**Flores:** Las flores son hermafroditas y autofecundables, las flores que se desarrollan en una inflorescencia de racimo, pueden ser terminales, como sucede en las variedades de hábito determinado, o lateral, como en las indeterminadas.

**Frutos:** El fruto es el ovario desarrollado en forma de vaina con dos suturas que unen las dos valvas: la sutura dorsal o placentar y la sutura ventral. Las vainas son generalmente glabras o subglabras con pelos muy pequeños.

**Semillas:** La semilla no posee albumen, por lo que las reservas nutritivas se concentran en los cotiledones. Se origina de un óvulo campilótropo, se encuentra rodeada por una testa o cubierta protectora exterior que corresponde a la capa secundina del óvulo y recibe el nombre de epispermo.

#### ***4.1.4. Ciclo vegetativo***

El desarrollo de la planta de fréjol se divide en dos fases sucesivas: la vegetativa y la reproductiva. La duración de las distintas etapas está afectada por los siguientes factores: el hábito de crecimiento, el clima, el suelo y el genotipo (Álvarez, 2018).

**La fase vegetativa:** Inicia en el momento en que la semilla dispone de condiciones favorables para germinar, y termina cuando aparecen los primeros botones florales. En esta fase se forma la mayor parte de la estructura vegetativa que la planta necesita para iniciar su reproducción (Tabla 1).

**Tabla 1.** Etapas de desarrollo vegetativo en un cultivo de fréjol común.

Fase	Etapa		Evento con que se inicia cada etapa
	Código	Nombre	
Vegetativa	V0	Germinación	La semilla está en condiciones favorables para iniciar la germinación.
	V1	Emergencia	Los cotiledones del 50 % de las plantas aparecen al nivel del suelo.
	V2	Hojas primarias	Las hojas primarias del 50 % de las plantas están desplegadas.
	V3	Primera hoja trifoliada	La primera hoja trifoliada del 50 % de las plantas está desplegada
	V4	Tercera hoja trifoliada	La tercera hoja trifoliada del 50 % de las plantas está desplegada

Fuente: CIAT, 1986

**La fase reproductiva:** Termina cuando el grano alcanza el grado de madurez necesario para la recolecta; a pesar de ser esta fase predominantemente reproductiva, durante ella las variedades indeterminadas continúan, aunque con menor intensidad produciendo estructuras vegetativas (Tabla 2).

**Tabla 2.** Etapas reproductivas en un cultivo de fréjol común.

Fase	Etapa		Evento con que se inicia cada etapa
	Código	Nombre	
Reproductiva	R5	Prefloración	Los primeros botones o racimos han aparecido en el 50 % de las plantas.
	R6	Floración	Se ha abierto la primera flor en el 50 % de las plantas.
	R7	Formación de las vainas	Al marchitarse la corola, en el 50 % de las plantas aparece por lo menos una vaina
	R8	Llenado de las vainas	Llenado de semillas en la primera vaina en el 50 % de las plantas.
	R9	Maduración	Cambio de color en por lo menos una vaina en el 50 % de las plantas (del verde al amarillo uniforme o pigmentado).

Fuente: CIAT, 1986

#### 4.1.5. *Requerimientos nutricionales*

Una adecuada fertilización brinda los nutrientes necesarios para obtener un buen crecimiento, desarrollo y producción del cultivo. El fréjol absorbe cantidades altas de N, K y Ca y en menor cantidad S, Mg y P (Tabla 3). Una medida esencial para determinar la cantidad de nutrientes a aplicar en un cultivo es conocer las cantidades de elementos que contiene el suelo, mediante un análisis químico en laboratorio (Arcos y Rojas, 2015).

**Tabla 3.** Exigencias minerales del fréjol.

Componentes de la cosecha	kg ha <sup>-1</sup>					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Vainas	32	4	22	4	4	10
Tallo	65	5	71	50	14	15
Total	97	9	93	54	18	25

Fuente: Flor, 1985

Las etapas máximas de absorción de nutrientes (60 %) se encuentran a los 30 y 45 días, por lo que es recomendable fraccionar aplicaciones en 2 etapas, a los 0-7 días, y a los 22-30 días (Bertsch *et al.*, 2003). La cantidad de nutrientes absorbidos por los granos son los siguientes: nitrógeno (72 kg ha<sup>-1</sup>), fósforo (9,8 kg ha<sup>-1</sup>), potasio (30 kg ha<sup>-1</sup>), calcio (3 kg ha<sup>-1</sup>) y magnesio (5 kg ha<sup>-1</sup>) (Lata *et al.*, 2017).

#### **4.1.6. Requerimientos edafoclimáticos**

##### 4.1.6.1. Suelo.

El cultivo de fréjol se puede establecer en una diversidad de suelos con características variables. Se desarrolla bien desde 200 a 2 900 m.s.n.m. Se deben seleccionar terrenos con suelos que permitan el crecimiento radicular hasta por lo menos 35 a 40 cm, los valores de pH varían de ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos, entre 6,0 y 7,5, es muy susceptible a suelos ácidos y no tolera condiciones de salinidad (FAO, 2018). Las texturas del suelo más adecuadas son franco arcilloso y franco arenoso, estos suelos permiten mayor aireación y drenaje, factor importante para un buen desarrollo radicular y la formación de nódulos. Este cultivo no tolera suelos compactos, poca aireación y acumulación de agua (Álvarez, 2018).

##### 4.1.6.2. Clima.

La temperatura óptima para el desarrollo es de 10 - 27 °C. La incidencia de bajas temperaturas interfiere su desarrollo, inhibiendo y retardando el crecimiento, mientras elevadas temperaturas en combinación con humedad relativa superior al 85 %, favorecen la aparición de diversas enfermedades (Yanez, 2017).

Requiere precipitaciones de 350 a 600 mm durante todo el ciclo de cultivo. Las épocas más críticas que el cultivo requiere de agua son los 15 días antes de la floración y los 18 a 22 días antes de la

maduración de las primeras vainas (FAO, 2018). Basantes, (2015) menciona que precipitaciones por debajo de los 350 mm traen consecuencias negativas para la formación y el llenado de las vainas; sin embargo, precipitaciones por encima de los 600 mm favorecen el ataque de plagas y enfermedades.

## **4.2. Nitrógeno y su fijación en leguminosas**

### **4.2.1. Importancia del nitrógeno**

El elemento más abundante en la atmósfera es el nitrógeno, representando el 78 % de los gases que componen el aire, sin embargo, no puede ser aprovechado por las plantas ya que este elemento es más difícil de conseguir debido a que se encuentra de forma inerte en el aire, además las plantas requieren de reacciones bioquímicas de alto costo energético para transformarlo a formas más asimilables (Huachi, 2015; Fernández, 2020). El nitrógeno se mueve en el sistema radicular por flujo de masa, siendo asimilable por la planta en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Segura, 2022).

Los organismos capaces de fijar  $\text{N}_2$  atmosférico, también denominados diazotrofos, se dividen en bacterias productoras de nódulos y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) (Fernández, 2020).

Uno de los macronutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas es el nitrógeno, este se encuentra en el suelo en porciones relativamente altas de forma orgánica y mineral, esta última esencial para que pueda ser absorbido por las plantas, sin embargo, las cantidades disponibles en el suelo no son suficientes para suplir las necesidades de las plantas, por lo que se debe aplicar fertilizantes que aporten nitrógeno (Ube, 2021).

En la etapa inicial de crecimiento vegetativo el nitrógeno tiene como función principal estimular el crecimiento, ya que genera un mayor índice de área foliar y prolonga el periodo útil de las hojas, además durante la floración permite un mayor incremento del número de ejes, el número de flores, número y peso de vaina, generando un mayor rendimiento de las plantas (Huachi, 2015).

### **4.2.2. Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas**

El proceso de fijación biológica de nitrógeno se debe a la asociación simbiótica leguminosas-

rizobios, dentro del cual se establece de forma intracelular induciendo a la formación de nódulos, en estas condiciones la bacteria tiene la capacidad de convertir el  $N_2$  atmosférico en amonio  $NH_4$ , el cual constituye la fuente de nitrógeno que permite el crecimiento de las plantas (Lara, 2015). Esta interacción brinda beneficios directos en el crecimiento y salud de las plantas, muy a menudo puede suplir por completo las demandas de N de la planta, así mismo reduce de manera significativa la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Colás *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2019), estas asociaciones simbióticas permiten la incorporación de 60 a 120 kg de nitrógeno por hectárea (Lara, 2015).

La fijación biológica del nitrógeno desempeña un papel fundamental en la agricultura sostenible, ya que reduce la necesidad de fertilizantes exógenos al tiempo que proporciona carbono, nitrógeno, fósforo y otros nutrientes para producir alimentos ricos en proteínas (Ikbali *et al.*, 2020).

La simbiosis entre leguminosa y rizobios se debe a la adaptación del medio, por lo que, en suelos ricos en N, las leguminosas prefieren utilizar el N inorgánico del suelo, independientemente de la presencia de las bacterias, por el contrario, si los niveles de N del suelo son bajos, la planta estimula el ingreso de los rizobios a la raíz, que fijarán  $N_2$  atmosférico (Fernández, 2020).

#### 4.2.2.1. Proceso de nodulación en leguminosas.

Los nódulos son órganos vegetales que se producen en la raíz de la planta huésped al ingresar los rizobios a través de tres mecanismos: hilos de infección en los pelos radicales, a través de la entrada por grietas o a través de las células epidérmicas de la raíz (Bianco, 2020). Los nódulos aparecen de 4 a 6 semanas posterior a la siembra, y alcanzan una actividad máxima alrededor de la floración (Pommeresche y Hansen, 2017).

Según Fernández (2020), para el establecimiento de nódulos funcionales ocurren varias etapas:

1. Reconocimiento mutuo entre la planta y el rizobio mediante señales bioquímicas.
2. Adherencia de los rizobios a los pelos absorbentes.
3. Enroscamiento de los pelos absorbentes.
4. Invasión del pelo radical y formación de un cordón infeccioso.
5. Desplazamiento de las bacterias hacia la raíz principal por los filamentos de infección.

6. Ingreso de las bacterias a las células de la raíz y diferenciación de los bacteroides.

7. Establecimiento del nódulo funcional maduro e inicio de la fijación biológica de nitrógeno.

Los nódulos que están activos y que fijan N, contienen una proteína pigmentada llamada leghemoglobina, presentando una coloración rojiza en el interior de los nódulos, lo que indica que las bacterias están vivas y activas, cuanto más rojo el interior del nódulo, más efectivas son. Los nódulos que han muerto, o que no están activos suelen tener una coloración verde grisáceo marrón (Pommeresche y Hansen, 2017).

#### 4.2.2.2. Microorganismos benéficos.

Los microorganismos benéficos están constituidos por una amplia gama de microorganismos, incluye las bacterias fijadoras de nitrógeno, tanto simbióticas como de vida libre, rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR), y hongos involucrados en asociaciones de micorrizas (Mendes *et al.*, 2013; Arora *et al.*, 2016). Entre ellos tenemos bacterias como *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus* spp, *Pseudomonas fluorescens*, *Rhizobium*, *Frankia* y otros miembros de actinobacterias (Nadeem *et al.*, 2014).

##### 4.2.2.2.1. Género *Rhizobium*.

#### ✓ **Clasificación taxonómica**

La taxonomía de las bacterias del género *Rhizobium* es la siguiente: Reino Bacteria, Filo Proteobacteria, Clase Proteobacteria Alfa, Orden Rhizobiales, Familia Rhizobiaceae y Género *Rhizobium* (Rodríguez y López, 2009).

#### ✓ **Características**

Son bacilos Gram-negativo, aeróbicas, móviles, miden  $0,5 - 1,0 \times 1,2 - 3,0 \mu\text{m}$ , no esporulan y tienen de 1 a 6 flagelos peritricos. Las colonias suelen ser blancas o beige, circulares, convexas, semitranslúcidas u opacas, elevadas y mucilaginosas, por lo general de 2 a 4 mm de diámetro. La temperatura óptima de crecimiento es de 25 a 30 °C; algunas especies pueden crecer a temperaturas > 40 °C y un pH óptimo de 6 - 7 (Young *et al.*, 2015).

### ✓ **Importancia agrícola**

*Rhizobium* es un grupo de organismos que habitan en la rizósfera de las plantas y generalmente se alimentan de restos de organismos en descomposición, su importancia se basa en la acción de nodulación en las raíces de las plantas que absorben el nitrógeno del medio exterior, esto gracias a que contienen un plásmido que codifica la información permitiendo causar la nodulación (Chicaiza *et al.*, 2019). Se estima que la fijación de nitrógeno varía de 24 hasta 584 kg ha<sup>-1</sup> y tiene la capacidad de abastecer hasta 90 % de las necesidades de la planta (Ángeles y Cruz, 2015). La capacidad de nodular leguminosas de las especies de *Rhizobium* parece ser específico de algunas especies o géneros de plantas, permitiendo que solo cepas particulares de rizobios nodulen con leguminosas hospedantes precisas (Ramírez *et al.*, 2019).

*Rhizobium* tiene la capacidad de promover el crecimiento de las plantas de forma directa e indirecta mediante la fijación biológica de nitrógeno, solubilización de fosfato, formación de sideróforos y producción de fitohormonas, además tienen la capacidad de influir en la resistencia de la planta frente a factores de estrés abiótico, permite el control biológico de enfermedades mediadas por dos mecanismos diferentes: (1) antagonismo de plagas y patógenos y (2) estimulación de las defensas de las plantas hospedantes (Mabrouk *et al.*, 2018).

#### 4.2.2.2.2. Género *Bacillus*.

### ✓ **Clasificación taxonómica**

La taxonomía de las bacterias del género *Bacillus* es la siguiente: Reino Bacteria, Filo Firmicutes, Clase Bacilli, Orden Bacillales, Familia Bacillaceae y Género *Bacillus* (Maughan y Van der Auwera, 2011).

### ✓ **Características**

El género *Bacillus* fue descrito por primera vez por Cohn en 1872, quien la describió como una bacteria con forma de bastón, Gram-positiva formadora de endosporas, aeróbicas o anaeróbicas facultativas, son resistentes a condiciones ambientales adversas, la morfología y el tamaño de las colonias son muy variables entre las especies y dentro de ellas. En la actualidad, *Bacillus* es uno de los géneros bacterianos con las especies más descritas, que comprende 377 especies nombradas,

siendo el género más abundante en la rizósfera (Villalobos *et al.*, 2019)

#### ✓ **Importancia agrícola**

Las especies de *Bacillus* se encuentran entre los agentes de control biológico más estudiados, es decir, son considerados bioplaguicidas que contribuyen a la supresión de patógenos vegetales. La inhibición de crecimiento de patógenos por *Bacillus* spp. implica la participación de mecanismos como la competencia por nutrientes y espacio, producción de antibióticos, enzimas hidrolíticas, sideróforos y/o inductores resistencia sistémica. También es considerada como una especie que pueden actuar como biofertilizantes o bioestimuladores, ya sea facilitando la absorción de ciertos nutrientes del medio ambiente (fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo y potasio), o proporcionando a la planta un compuesto (biosíntesis de hormonas vegetales) (Miljaković *et al.*, 2020).

#### 4.2.2.2.3. Género *Pseudomonas*.

#### ✓ **Clasificación taxonómica**

La taxonomía de las bacterias del género *Pseudomonas* es la siguiente: Reino Bacteria, Filo Proteobacteria, Clase Gammaproteobacteria, Orden Pseudomonadales, Familia Pseudomonadaceae y Género *Pseudomonas* (Pérez *et al.*, 2015).

#### ✓ **Características**

Presentan bacilos Gram-negativo, rectos o ligeramente curvados y saprofitas. Se pueden encontrar en ecosistemas acuáticos y en el suelo, no forman esporas y un rango de temperatura para su desarrollo de 25 a 30 °C, requiere un pH neutro y no crece en condiciones ácidas ( $\text{pH} \leq 4.5$ ), sus flagelos polares hacen posible su movimiento activo en líquido. Abundan en la superficie de las raíces, ya que son versátiles en su metabolismo y pueden utilizar varios sustratos producidos por las mismas, interactuando de forma asociativa con la planta (Pérez *et al.*, 2015).

#### ✓ **Importancia agrícola**

Las especies de *Pseudomonas* colonizan las raíces de las plantas o el interior del tejido, pueden aliviar los efectos del estrés ambiental en la planta al ayudar a la adquisición de nutrientes por la

planta, inducir la acumulación de osmolitos y antioxidantes, también permiten regular o disminuir la expresión de los genes relacionados con el crecimiento de las plantas (Morocho y Mora, 2019), producen un aumento de la disponibilidad de fósforo y nitrógeno en forma asimilable para la planta debido a la producción de fitohormonas que estimulan la actividad vegetativa, así como la descomposición de precursores del etileno, desempeñando un papel fundamental en el suelos como supresores de enfermedades (Álvarez *et al.*, 2020).

#### ***4.2.3. Uso de microorganismos benéficos en la agricultura***

La comercialización de microorganismos beneficiosos en la producción de los sistemas agrícolas es de vital importancia debido a su seguridad ambiental, la sostenibilidad y los múltiples beneficios para las plantas hospedadoras (Sharma *et al.*, 2017).

Estos agentes biológicos representan una alternativa viable para el control de plagas a través de distintos mecanismos de acción como antibiosis, micoparasitismo o competencia Díaz *et al.* (2017), mejorar la disponibilidad de nutrimentos, alterar la morfología de las plantas, secretar metabolitos que pueden aumentar el crecimiento de las plantas y la tolerancia a los factores de estrés ambiental (Sharma *et al.*, 2020). Pueden influir directamente en el rendimiento de los cultivos aumentando hasta un 20 % de la producción (Viera, 2020).

Un mecanismo eficiente para la colocación de inóculos microbianos en el suelo es la aplicación de microorganismos benéficos directamente a las semillas, donde estos colonizaran directamente las raíces de las plántulas, protegiéndolas contra plagas y enfermedades (O'Callaghan, 2016). Este método es comúnmente utilizado en la producción de plantas hortícolas para favorecer la uniformidad de la germinación y el crecimiento de las plantas (Bisen *et al.*, 2015).

#### **4.3. Fertilización química**

La aplicación de fertilizantes sintéticos en la agricultura incrementa en gran medida el rendimiento de diversos cultivos, por lo cual su uso aumentó 27,1 % en América Latina y el Caribe durante el periodo 2006 - 2017 (Reyes y Cortés, 2017). Se prevé que las necesidades de fertilizantes nitrogenados aumenten aún más en el futuro, ya que la mayoría de los cultivos dependen del uso frecuente de agroquímicos para mantener la fertilidad (Chávez *et al.*, 2020).

En la actualidad el 50 % de la población mundial depende de fertilizantes, especialmente nitrogenados, sin embargo, menos de la mitad del nitrógeno utilizado por los agricultores es asimilado por los cultivos (Reis *et al.*, 2020). El uso excesivo de fertilizantes tiene un efecto negativo e imprescindible en el medio ambiente como la contaminación de los recursos hídricos, inhiben la flora natural del suelo y también disminuyen la fertilidad, e incluso contribuyen a la liberación de gases de efecto invernadero (Rigby y Cáceres, 2001). Estos efectos se consideran una amenaza para la salud humana y animal que afecta la calidad de vida.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Materiales

Los materiales e insumos empleados en la siembra y la aplicación de los diversos tratamientos fueron:

- ✓ Fréjol (*Phaseolus vulgaris* var. mantequilla)
- ✓ Fertilizantes químicos: (DAP, urea, cloruro de potasio y sulfato de magnesio)
- ✓ *Rhizobium* (Rizosur)
- ✓ *Bacillus* G&M-Fertilizante microbiano (*Bacillus subtilis*)
- ✓ *Pseudomonas* (Biogen)
- ✓ Jeringuillas (10 mL)

Para el control de plagas y enfermedades se utilizó: Ciperfos (Chlorpyrifos), Bala 55 (Chlorpyrifos + Cypermethrin), Phyton (Sulfato de cobre pentahidratado sistémico) y Agropega (Eter Fenol Poliglicólico).

Los materiales, equipos y reactivos utilizados en la determinación del porcentaje de fijación biológica de nitrógeno fueron los siguientes:

- ✓ Preparación de muestras: estufa, molino, fundas de papel
- ✓ Determinación de materia seca (Ms): balanza analítica, funda de papel, estufa a 65 °C y desecador.
- ✓ Porcentaje de humedad: estufa desecadora.
- ✓ Extracto libre de nitrógeno: catalizador, NaOH 40 %, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98 %.

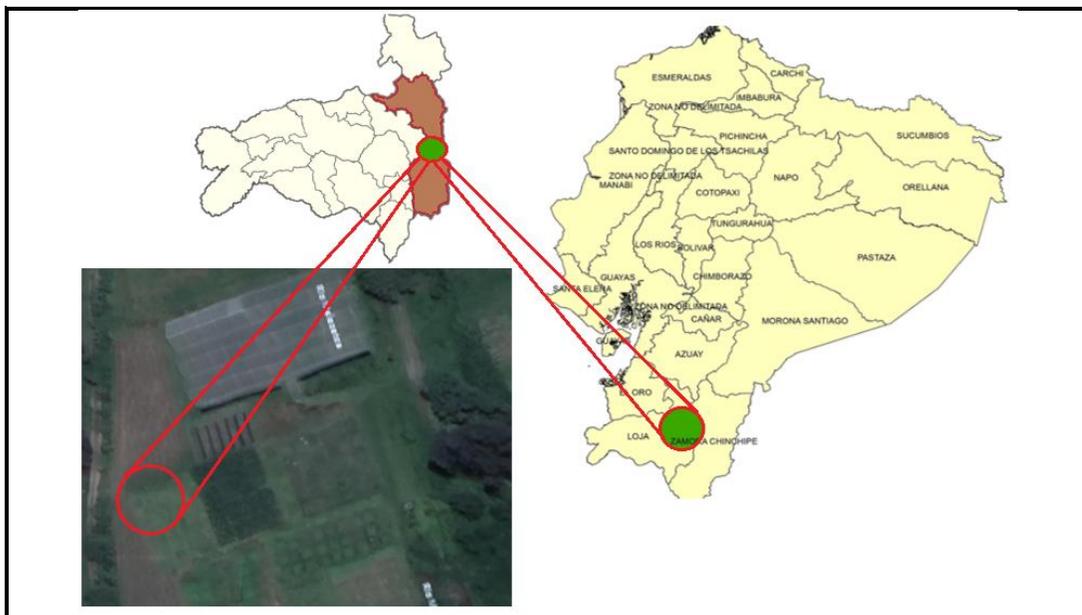
### 5.2. Métodos

#### 5.2.1. Localización del estudio

La presente investigación se desarrolló en la Quinta Experimental Docente “La Argelia”, de la Universidad Nacional de Loja; sector La Argelia, parroquia Punzara, cantón y provincia de Loja (Figura 1). Geográficamente se encuentra ubicada al sur de la hoya de Loja, en las siguientes

coordenadas: Longitud 79°12'47'' W, Latitud 03°57'20'' S y a una altitud de 2 138 m.s.n.m.

El suelo de la estación presenta una textura franca, con un rango medio de contenido de materia orgánica (1,77 %), densidad aparente (1,3 gcm<sup>-3</sup>) y un pH de 5,24 (Valverde y Morocho, 2014). Según Holdridge (1967), ecológicamente la Estación Experimental “La Argelia-Loja”, corresponde a una zona de vida Bosque seco montano bajo (bs-Mb) (Luzón, 2016), presentando las siguientes condiciones climáticas: precipitación anual de 1 848,1 mm, temperatura media anual de 16,4 °C, temperatura máxima de 21,3 °C, temperatura mínima 12,4 °C, humedad relativa media 78 % y una velocidad del viento media 3 km/h (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2017).



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio (Estación Experimental Docente “La Argelia”- UNL).

**Fuente:** Google Earth, 2021

## 5.2.2. Metodología general

### 5.2.2.1. Diseño experimental.

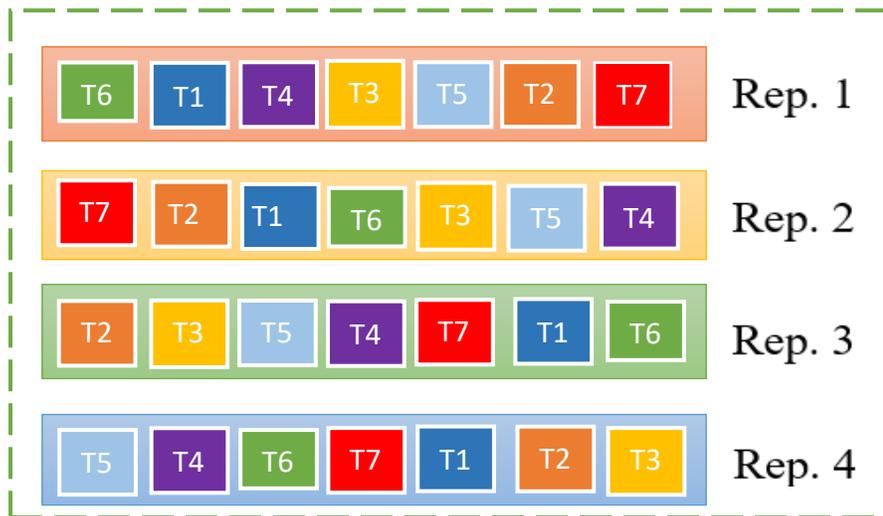
Se utilizó un diseño en bloques completamente al azar (DBCA) con 28 unidades experimentales (7 tratamientos con cuatro repeticiones por cada uno de los tratamientos), presentando las siguientes características por unidad experimental (Tabla 4).

**Tabla 4.** Características de la unidad experimental.

Descripción	Cantidad	Unidad
Largo de la parcela	3	m
Ancho de la parcela	2,6	m
Distancia entre surcos	0,45	m
Distancia entre plantas	0,4	m
Distancia entre parcela	0,5	m
Semillas por golpe	1	-
N° de plantas por parcela	43	-
Número de plantas/total del ensayo	1 204	-
N° de plantas a evaluar por parcela	10	-
Área por parcela	7,8	m <sup>2</sup>
Área total del ensayo	303,8	m <sup>2</sup>

**a. Esquema del diseño**

En la investigación se utilizó un diseño en bloques completamente al azar (DBCA) (Figura 2).



**Figura 2.** Croquis del diseño experimental de la investigación

Los tratamientos evaluados y la dosis a aplicar en el trabajo fueron los siguientes (Tabla 5):

**Tabla 5.** Tratamientos, productos y dosis de aplicación.

Tratamientos	Descripción	Producto	Dosis de aplicación
T1	Control absoluto	---	---
T2	<i>Bacillus</i>	G&M-Fertilizante microbiano ( <i>Bacillus subtilis</i> )	20 mL / 1 kg de semilla
T3	<i>Rhizobium</i>	Rizosur	0,02 kg / 1 kg de semilla
T4	<i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i>	Biogen + G&M-Fertilizante microbiano ( <i>Bacillus subtilis</i> )	20 mL + 20 mL / 1 kg de semilla
T5	<i>Rhizobium</i> + <i>Bacillus</i>	Rizosur + G&M-Fertilizante microbiano ( <i>Bacillus subtilis</i> )	0,02 kg + 20 mL / 1 kg de semilla
T6	<i>Rhizobium</i> + <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i>	Rizosur + Biogen + G&M-Fertilizante microbiano ( <i>Bacillus subtilis</i> )	0,02 kg + 20 mL + 20 mL / 1 kg de semilla
T7	Fertilización química	Urea DAP Cloruro de K SO4Mg	2,4 g/planta 4,1 g/planta 1,6 g/planta 1,8 g/planta

#### 5.2.2.2. Manejo del experimento.

##### 5.2.2.2.1. Análisis de suelo.

Las muestras de suelo fueron tomadas antes de la siembra, y por medio del método del zig zag con la ayuda de una pala se realizó un corte en forma de V en el sitio escogido, a una profundidad de 20 cm con la pala se tomó una porción de 3 cm de espesor cortando los bordes con un cuchillo y descartándose, tomando solo la parte central. Se colectó 15 muestras, las cuales se colocaron en bolsas separadas y se desmenuzaron quitando las piedras, raíces, posteriormente se homogenizaron todas las muestras y fueron colocadas en una funda plástica con aproximadamente 1 kg de suelo, procediendo a etiquetar la muestra (nombre del recolector, fecha, profundidad de la muestra y procedencia) (Schweizer, 2011). Las muestras se analizaron en el laboratorio de suelos, foliares y aguas de AGROCALIDAD.

Con los resultados del análisis de suelo (Anexo 2), se realizó un plan de fertilización a partir de cálculos de fertilización química necesarios para el cultivo de fréjol y correcciones del suelo (Anexo 3).

Así mismo, se realizó la corrección del pH ácido del suelo a través del cálculo de dosis de cal agrícola (Anexo 4) según Coprocal (2015):

- a. Diferencia entre el pH a alcanzar y el pH actual.
- b. Se multiplicó el valor obtenido:
  - por 8 300 en el caso de suelos: porosos.
  - por 6 700 en el caso de suelos: rojos.
  - por 5 000 en el caso de otros suelos: graníticos, metamórficos y aluviales.
- c. El resultado fue la dosis de cal en kilos por hectárea.

#### 5.2.2.2.2. *Delimitación del área y preparación del suelo.*

Con la ayuda de un tractor marca John Deer se procedió a preparar el terreno con el objetivo de remover la tierra. Por medio de estacas y piola se delimitó la parcela total, para luego dividir las en sub-parcelas que fueron cada una de las unidades experimentales en las que constaron los 7 tratamientos con las 4 repeticiones, lo que resultó en un total de 28 parcelas, cada una de ellas con un área de 7,8 m<sup>2</sup> (3 m x 2,6 m) y con una distancia de separación de 0,50 m.

Una vez definida cada una de las unidades experimentales con ayuda de un azadón se procedió a triturar los terrones y con el rastrillo se eliminaron los restos de las plantas arvenses y se niveló dejando el suelo completamente apto para la siembra.

#### 5.2.2.2.3. *Preparación de insumos.*

Los productos empleados fueron adquiridos en el centro agropecuario Biogen y provistos por el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Nacional de Loja.

La inoculación de *Rhizobium* (Rizosur 1x10<sup>8</sup> CFU/mL), se realizó mediante peletización de la semilla bajo condiciones de sombra, en un balde se mezcló la cantidad de agua necesaria y en este se depositó 0,02 kg de bioinoculante por 1 kg de semilla, homogenizando todos los componentes, la mezcla se reposó por dos horas, y prontamente se realizó la respectiva siembra (García, 2015).

La inoculación de *Pseudomonas* (Biogen *Pseudomonas fluorescens*  $1 \times 10^8$  CFU/mL), se aplicó de manera líquida mediante inmersión a la semilla inmediatamente antes de la siembra, a razón de 20 mL de inoculante líquido por 1 kg de semilla.

Para la inoculación de la semilla con *Bacillus subtilis* (G&M-Fertilizante microbiano  $1 \times 10^8$  CFU/mL) se aplicó de manera directa 20 mL de inoculante líquido por 1 kg de semilla antes de la siembra.

Para las interacciones dobles y triple de los inoculantes se realizó una combinación de los productos antes mencionados por cada kg de semilla.

El fertilizante químico empleado se lo obtuvo a partir de un plan de fertilización, el cual se lo realizó de manera edáfica y fraccionada: 11 y 32 días después de la siembra (Anexo 3, Tabla 10).

#### 5.2.2.2.4. *Siembra y riego.*

La siembra se realizó de forma directa, se colocó una semilla por golpe a una profundidad de 2 a 3 cm y a una distancia de 0,45 m entre surco y 0,40 m entre planta. El riego dependió de las condiciones climáticas presentes durante el transcurso del ciclo del cultivo.

#### 5.2.2.2.5. *Control de plantas arvenses y aporque.*

Se realizó deshierbes de forma manual utilizando azadón y rastrillo cada vez que existió la presencia de plantas arvenses. Del mismo modo se procedió a realizar el aporque antes de la floración.

#### 5.2.2.2.6. *Control de plagas y enfermedades.*

Se realizó un seguimiento para evitar la proliferación de plagas y enfermedades para lo cual se emplearon productos químicos: Ciperfos (Chlorpyrifos), Bala 55 (Chlorpyrifos + Cypermethrin), Phyton (Sulfato de cobre pentahidratado sistémico) y Agropega (Eter Fenol Poliglicólico). Las dosis utilizadas en cada caso fueron las recomendadas por el fabricante.

#### 5.2.2.2.7. *Toma de datos y cosecha.*

La toma de datos se realizó desde el momento de la germinación de las plantas hasta el momento

de la cosecha. La cosecha se efectuó de forma manual cuando el cultivo llegó a su madurez fisiológica. Separando las cosechas de cada tratamiento para que no afecte al momento de evaluar los rendimientos del cultivo de fréjol.

### **5.2.3. Metodología para cada objetivo**

#### 5.2.3.1. Metodología para el primer objetivo.

**“Evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos benéficos sobre parámetros productivos del cultivo de fréjol común”.**

Para dar cumplimiento al primer objetivo, se evaluaron 10 plantas al azar por cada unidad experimental dentro del área útil en cada parcela, para la toma de datos de todas las variables con excepción de las variables fenológicas, porcentaje de germinación, peso de 100 semillas, contenido de nitrógeno y rendimiento agrícola.

#### **a. Variables fenológicas**

**Días a emergencia:** Se tomó el número de días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que emergió el 50 % de la población estimada por cada unidad experimental.

**Días a floración:** Se contabilizó el periodo de días transcurridos desde la siembra hasta que se observó la apertura de la primera flor, en el 50 % de la población, en cada parcela.

**Días a madures fisiológica:** Se evaluó cuando el 50 % de las plantas de la parcela neta presentaron un cambio de color amarillento.

**Días a cosecha:** Se registró el número de días desde la siembra hasta que las vainas estuvieron listas para la cosecha y las plantas presentaron el 50 % de defoliación (Muñoz *et al.*, 1993).

#### **b. Parámetros de nodulación**

**Número de nódulos por plantas:** A los 21 y 42 días después de la siembra (DDS), se contabilizaron el número de estructuras vegetales que se produjeron en la raíz (nódulos), con una pala se extrajeron las muestras alrededor de la planta, se las colocó en una lámina de plástico, se separó la tierra de las raíces y se lavaron con agua corriente (Ferrer, 2019).

### c. Parámetros de crecimiento

**Porcentaje de germinación (%):** A los 15 DDS se registró el número de plantas germinadas por cada unidad experimental. Para estabilizar las varianzas y disminuir el error experimental se realizó la transformación de los datos mediante arcoseno.

**Altura de la planta (cm):** Con ayuda de una cinta métrica se midió la longitud del tallo principal, desde el nivel del suelo hasta el punto apical de las plantas a los 15, 30 y 45 DDS.

**Diámetro de tallo (mm):** Se midió el diámetro de los tallos por debajo de las hojas unifoliadas con un calibrador a los 15, 30 y 45 DDS.

**Área foliar (cm<sup>2</sup>):** Al momento de iniciar la floración se seleccionaron 25 hojas de fréjol al azar, a las cuales se midió ancho con una cinta métrica, y a las mismas hojas por medio de fotografía y mediante el software Image J se cuantificó el área foliar, posterior a ello a través de Excel se obtuvo la siguiente ecuación: Área foliar:  $-0,3539X^2 + 10,455X - 23,486$ , la que permitió calcular el área foliar solamente con el ancho de las hojas.

En 10 plantas por cada unidad experimental se seleccionaron todas las hojas de fréjol, se les midió el ancho, y con ese dato a través de la ecuación antes mencionada se obtuvo el área de cada hoja y luego el área foliar de toda la planta (Espinoza, 2021).

**Longitud de vainas (cm):** Al momento de la cosecha, se midió con una cinta métrica las vainas desde la base hasta el ápice (Curay, 2019).

### d. Componentes de rendimiento

**Número de vainas por planta:** Después de la cosecha se contó el número de vainas de 10 plantas por repetición.

**Número de granos por vaina:** Después de la cosecha se contabilizó el número de semillas de cada vaina de 10 plantas por cada unidad experimental y se sacó un promedio.

**Peso de 100 semillas:** Se tomaron 100 semillas por cada unidad experimental, se pesaron y se procedió a sacar el promedio (Rivas, 2004).

### e. Contenido de nitrógeno

**Porcentaje de Nitrógeno fijado:** Del material cosechado de las plantas evaluadas de cada parcela neta se realizaron cortes de 5 cm de la parte aérea (tallos y hojas), se homogenizaron las muestras colocando en bolsas de papel debidamente etiquetadas. Estas se secaron a 65 °C en estufa, se pesaron y se molieron con malla fina (<1 mm). Posteriormente, se tomaron 100 g de cada muestra para analizar contenido el N total a través del método de Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982).

### f. Rendimiento agrícola

**Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>):** Cuando las plantas presentaron el 50 % de defoliación se cosecharon todas las plantas de cada unidad experimental por separado y se pesaron en una balanza. El rendimiento en grano fresco se lo obtuvo mediante la fórmula propuesta por Cantaro *et al.* (2019):

$$\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Peso semillas por unidad experimental}}{\text{N}^{\circ} \text{ de plantas cosechadas}} * \text{N}^{\circ} \text{ plantas por ha}$$

#### 5.2.3.2. Metodología para el segundo objetivo.

**“Realizar un análisis económico comparativo entre la aplicación de microorganismos benéficos con respecto a la utilización de fertilización química”.**

El análisis de rentabilidad económica se calculó en base a la relación beneficio/costo para cada uno de los tratamientos, con excepción del testigo ya que la investigación se realizó para determinar que tratamiento es más viable entre la aplicación de microorganismos benéficos frente a la fertilización química.

La relación beneficio costo es un método que consiste en contrarrestar los beneficios obtenidos con los gastos generados durante el proceso de producción y se obtiene mediante la fórmula (Ruíz, 1996; citado por Villegas *et al.*, (2009)

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Beneficio neto}}{\text{Costo de producción}} * 100$$

$$\text{Beneficio neto} = \text{Ingreso total} - \text{Costo de producción}$$

#### ***5.2.4. Análisis estadístico***

Los datos obtenidos fueron sometidos al análisis de supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza para cada variable, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si los tratamientos tienen efectos significativos sobre la variable respuesta, usando un nivel de significancia  $p < 0,05$ , para determinar cuál es el mejor tratamiento se aplicó una prueba de comparación de Tukey con un nivel de confianza del 95 % y un análisis de correlación de Pearson 95 % entre todas las variables cuantitativas. Estos datos fueron analizados con el software estadístico (Infostat).

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Resultados para el primer objetivo

“Evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos benéficos sobre parámetros productivos del cultivo de fréjol común”

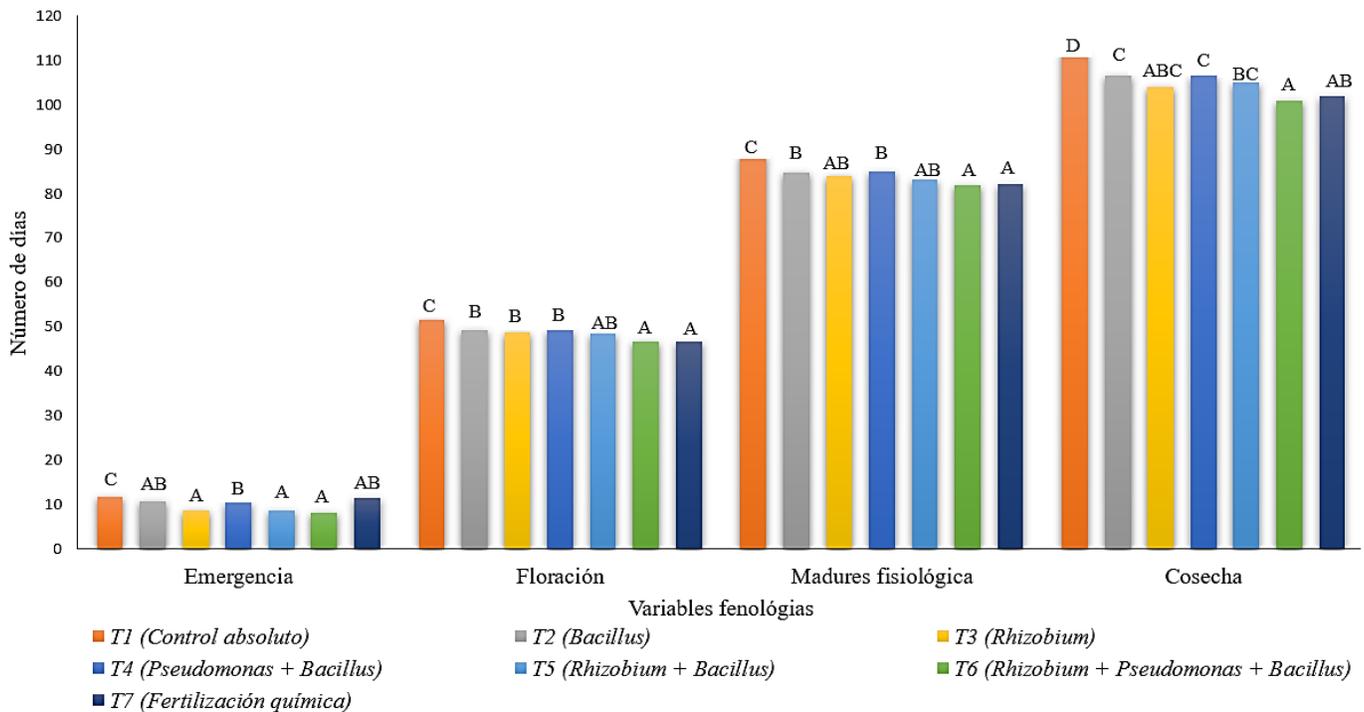
#### a. Variables fenológicas

Al analizar las variables fenológicas (Anexo 5, Tabla 11) los tratamientos evaluados presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) (Figura 3).

Para el número de días a emergencia, se encontró que los tratamientos *Rhizobium* y sus interacciones: T3 (*Rhizobium*), T5 (*Rhizobium* + *Bacillus*) y T6 (*Rhizobium* + *Pseudomonas* + *Bacillus*) presentaron menor número de días de emergencia en el cultivo de fréjol.

Con respecto a los días a floración, madurez fisiológica y cosecha, se observó que los tratamientos que influyeron a obtener menor número de días en el ciclo ontogénico del cultivo de fréjol fueron: T6 (*Rhizobium* + *Pseudomonas* + *Bacillus*) y T7 (Fertilización química), en cuanto al T1 (control absoluto) presentó mayores días hasta la floración.

El T6 (*Rhizobium* + *Pseudomonas* + *Bacillus*) presentó un menor ciclo del cultivo (101 días), mientras que el T1 (Control absoluto) presentó un mayor ciclo (112 días).



**Figura 3.** Variables fenológicas, en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

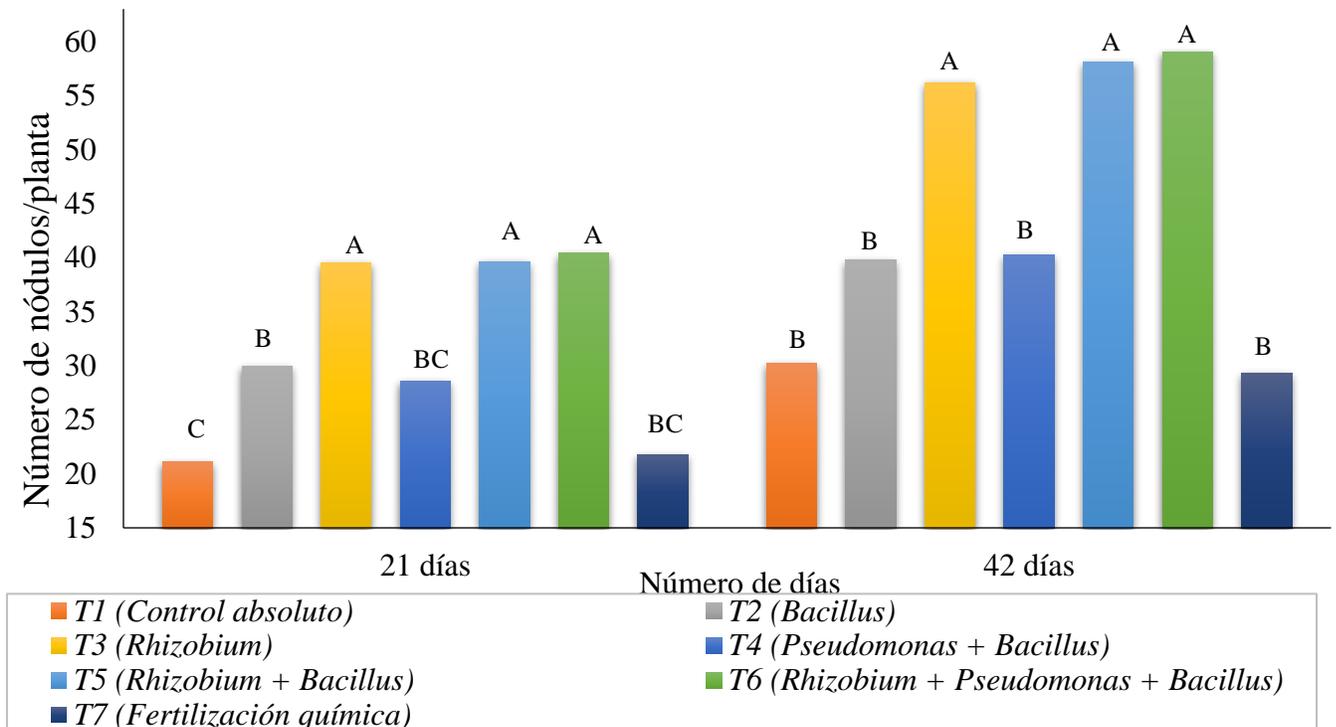
Medias de los tratamientos con letras distintas difieren estadísticamente con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) ( $n=4$ ).  $EE\bar{x}$  = Error Estandar de la Media (variables fenológicas): emergencia: 0,27; floración: 0,42; madures fisiológica: 0,52; y cosecha: 0,79.

### b. Parámetros de nodulación

Al evaluar los parámetros de nodulación con respecto al número de nódulos por planta, a los 21 y 42 días después de la siembra (Anexo 5, Tabla 12) los tratamientos evaluados presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Los tratamientos que indujeron un mayor número de nódulos a los 21 días fueron los tratamientos *Rhizobium* y sus interacciones: T5 y T6, así mismo el T1 presentó un menor número de nódulos mostrando una diferencia de 19,3 nódulos por planta.

A los 42 días después de la siembra, se constató que los tratamientos 6, 5 y 3 presentaron un mayor número de nódulos (Figura 4), así mismo los tratamientos 1, 2, 4 y 7 presentaron un menor número de nódulos, mostrando una diferencia de 29,75 nódulos por planta.



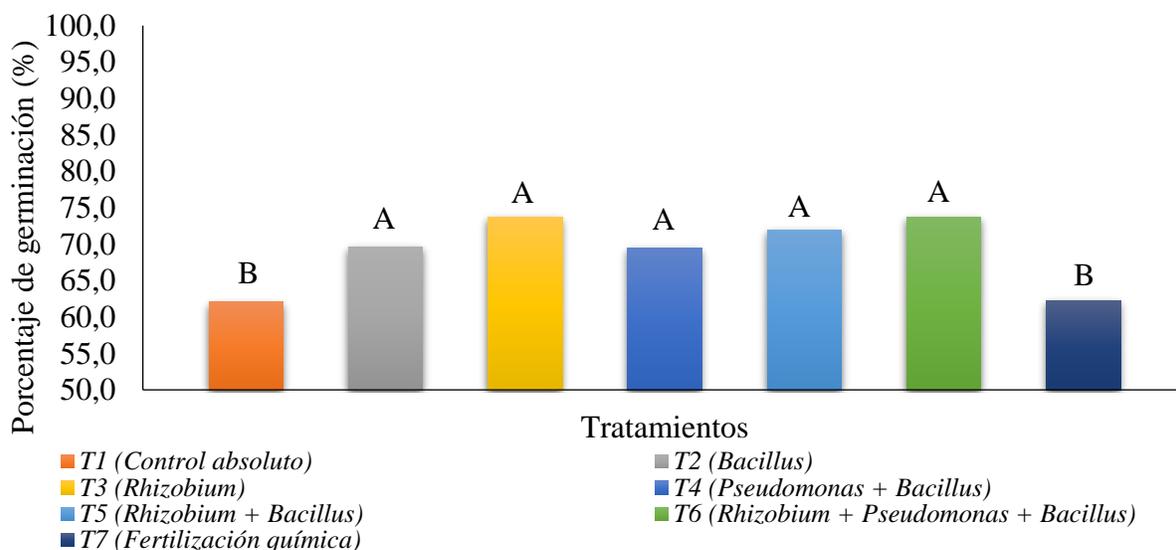
**Figura 4.** Número de nódulos a los 21 y 42 días, en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Medias de los tratamientos con letras distintas difieren estadísticamente con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) ( $n=4$ ).  $EE\bar{x}$  = Error Estandar de la Media (número de nódulos): 21 días: 2,02; y 42 días: 3,84.

### c. Parámetros de crecimiento

Al comparar el efecto de los tratamientos sobre los parámetros de crecimiento (Anexo 5, Tabla 13), se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos sobre las variables evaluadas con excepción del diámetro del tallo y longitud de vainas.

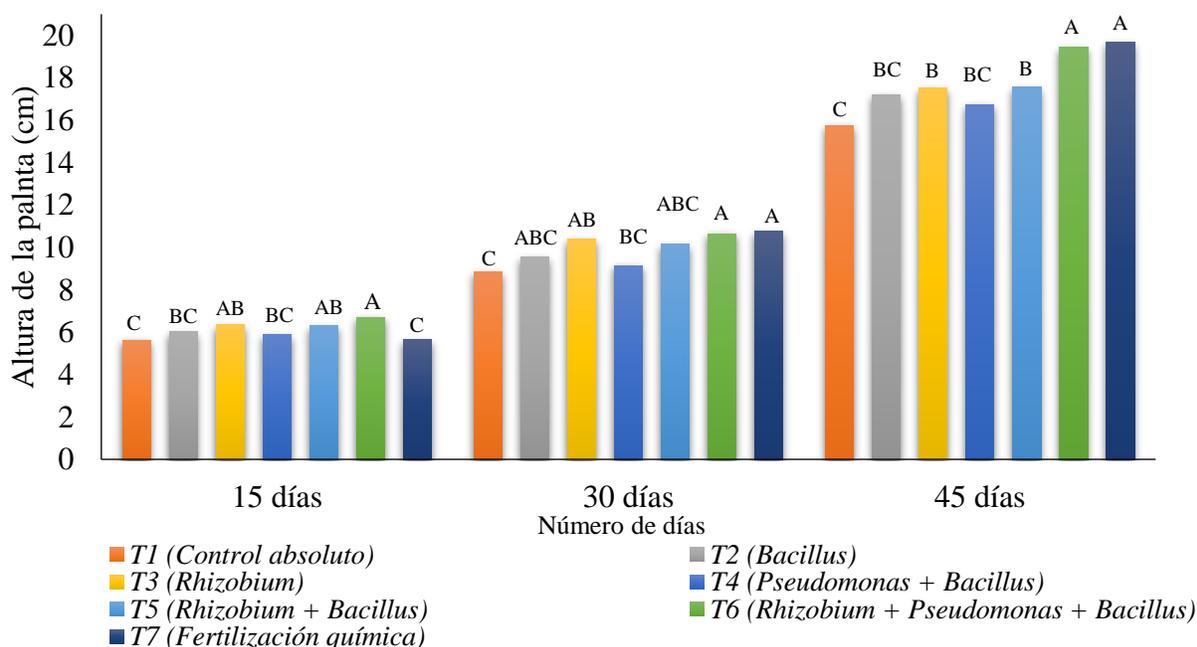
El porcentaje de germinación (Figura 5) se vio significativamente afectado por la inoculación de microorganismos benéficos, en cuanto al control absoluto y la fertilización química mostró un menor porcentaje.



**Figura 5.** Porcentaje de germinación, en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Medias de los tratamientos con letras distintas difieren estadísticamente con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) ( $n=4$ ).  $EE\bar{x}$  = Error Estandar de la Media (porcentaje de germinación): 1,39.

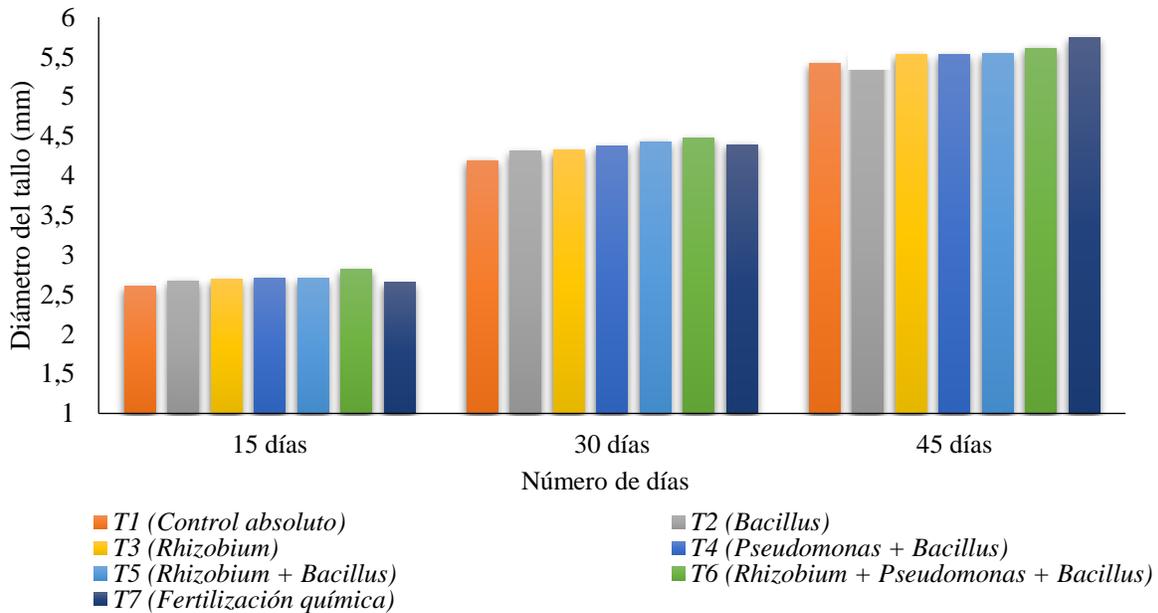
Con respecto a la altura de la planta (Figura 6) a los 15 días, el tratamiento que obtuvo mayor altura fue el T6, seguido de los tratamientos T3 y T5. A los 30 y 45 días los tratamientos que permitieron una mayor altura fueron el T6 y T7.



**Figura 6.** Altura del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), evaluados a los 15, 30 y 45 días.

Medias de los tratamientos con letras distintas difieren estadísticamente con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) ( $n=4$ ).  $EE\bar{x}$  = Error Estandar de la Media (altura de la planta): 15 días: 0,13; 30 días 0,29; y 42 días: 0,35.

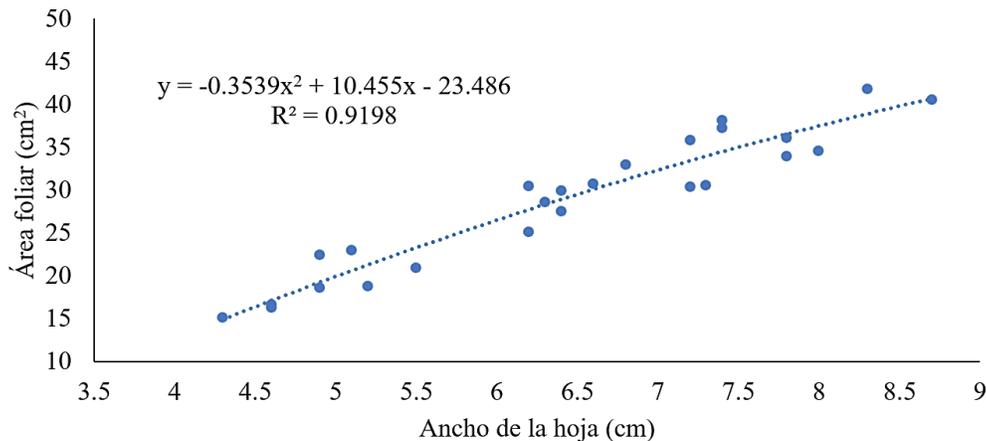
Al analizar el diámetro del tallo a los 15, 30 y 45 días (Figura 7) se observó que todos los tratamientos no mostraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).



**Figura 7.** Diámetro del tallo del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), evaluados a los 15, 30 y 45 días.

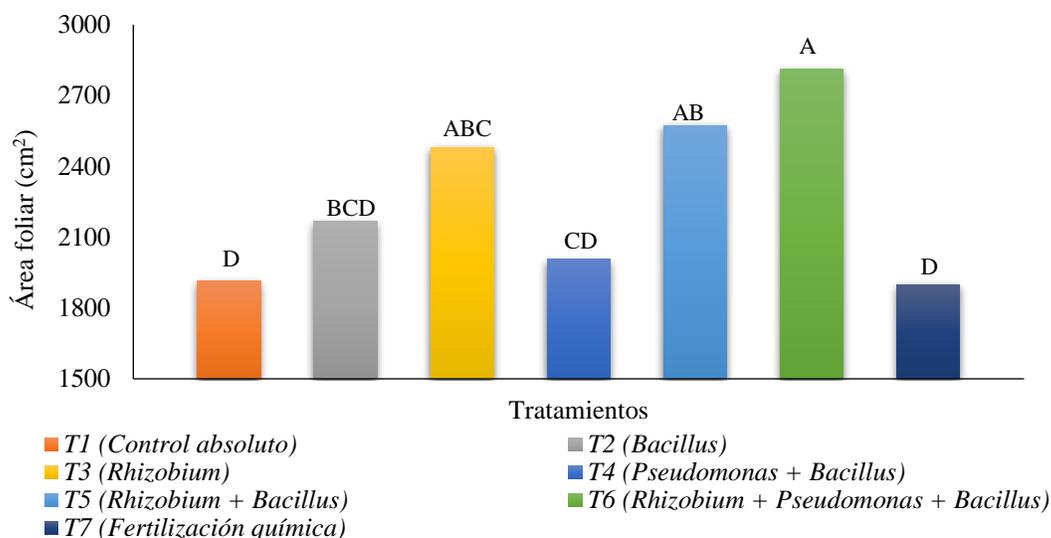
Medias de los tratamientos con letras distintas difieren estadísticamente con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) ( $n=4$ ).  $EE\bar{x}$  = Error Estandar de la Media (diámetro del tallo): 15 días: 0,08; 30 días 0,19; y 42 días: 0,11.

En la figura 8 se muestra la ecuación, junto con la regresión obtenida con un valor de  $R^2 = 0,9198$ .



**Figura 8.** Curva de regresión obtenida entre el ancho de la hoja y área foliar.

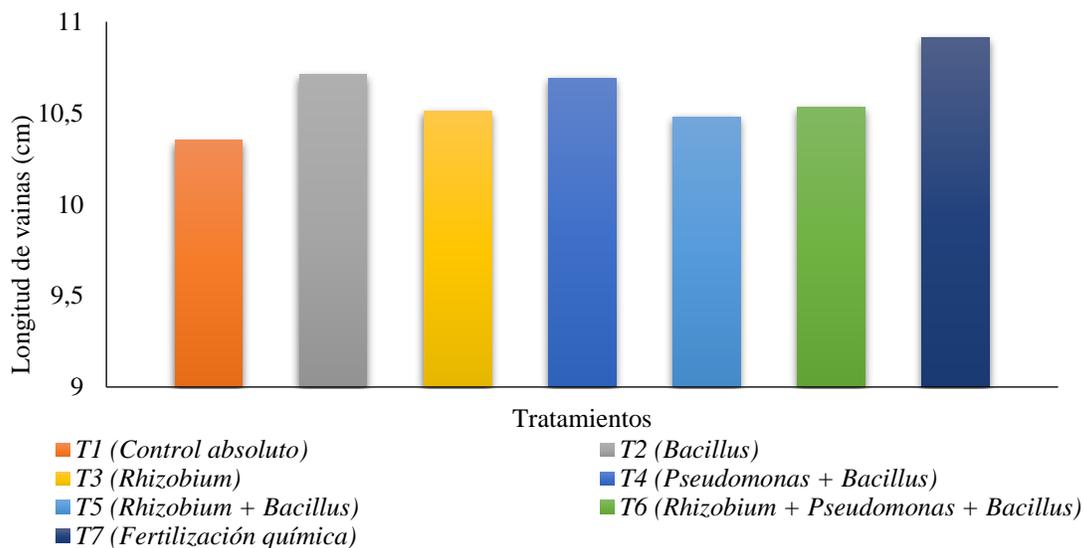
Al comparar el área foliar (Figura 9) se observó que las plantas inoculadas con el T6 mostraron una mayor área foliar, sin embargo, también se evidenció un efecto positivo con la aplicación de los tratamientos 5 y 3. En todos los casos hubo una marcada diferencia con el tratamiento T7 y el control.



**Figura 9.** Área foliar del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Medias de los tratamientos con letras distintas difieren estadísticamente con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) ( $n=4$ ).  $EE\bar{x}$  = Error Estandar de la Media (área foliar): 117,68.

En cuanto a la longitud de vainas (Figura 10) el T7 presentó los valores promedio más altos, pero sin diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) con el resto de tratamientos.



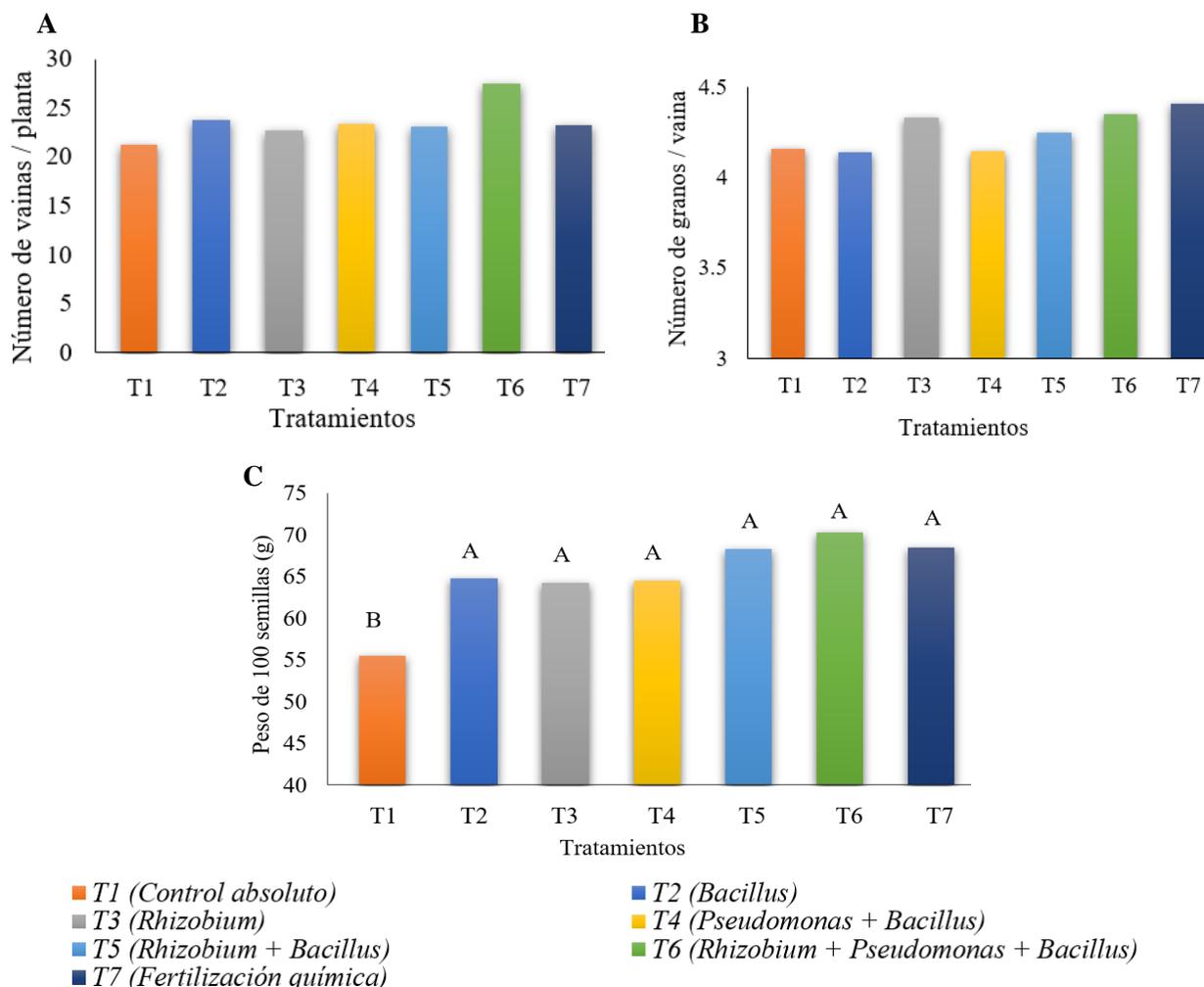
**Figura 10.** Longitud de vainas del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Medias de los tratamientos con letras distintas difieren estadísticamente con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) ( $n=4$ ).  $EE\bar{x}$  = Error Estandar de la Media (longitud de vainas): 0,25.

#### d. Componentes de rendimiento

En la Figura 11, se muestran los resultados obtenidos con respecto a los componentes de rendimiento del cultivo de fréjol. En cuanto al número de vainas por planta (Figura 11A) y número

de granos por vaina (Figura 11B) en todos los casos los tratamientos evaluados no difieren entre sí. No obstante, al analizar el peso de 100 semillas (Figura 11C) el T6 mostró mayor peso, sin embargo no presentó diferencias en relación a los demás tratamientos, con excepción del T1 quién presentó los valores más bajos.



**Figura 11.** Evaluación de los componentes de rendimiento de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.): A) Número de vainas por planta, B) Número de granos por vaina, C) Peso de 100 semillas.

Medias de los tratamientos con letras distintas difieren estadísticamente con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) ( $n=4$ ).  $EE\bar{x}$  = Error Estandar de la Media (componentes de rendimiento): número de vainas por planta: 2,19; número de granos por vaina: 0,10; y peso de 100 semillas: 1,30.

### e. Contenido de nitrógeno

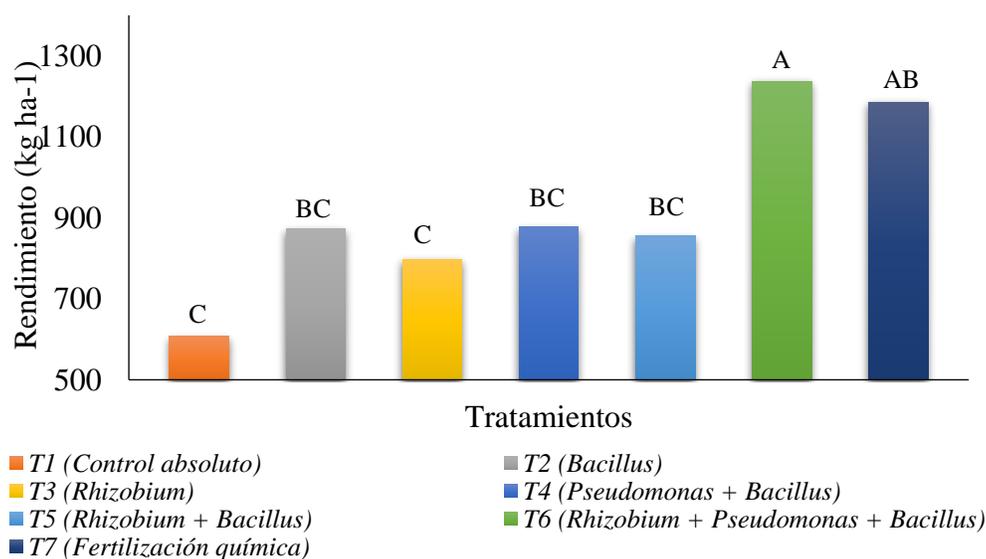
El contenido de nitrógeno total se presenta en la Tabla 6. Los valores del porcentaje de nitrógeno total a base de materia fresca y seca se ven incrementados con la aplicación de *Rhizobium* + *Pseudomonas* + *Bacillus* y *Rhizobium* respectivamente.

**Tabla 6.** Contenido de nitrógeno total fijado por cada tratamiento base fresca y seca en fréjol común.

Tratamiento	% N Total		Diferencia de % N fijado en relación al control absoluto
	Base fresca	Base seca	
T1 Control absoluto	0,59	2,56	---
T2 <i>Bacillus</i>	0,53	2,21	-0,35
T3 <i>Rhizobium</i>	0,65	2,87	0,31
T4 <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i>	0,62	2,67	0,11
T5 <i>Rhizobium</i> + <i>Bacillus</i>	0,56	2,83	0,27
T6 <i>Rhizobium</i> + <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i>	0,74	3,25	0,67
T7 Fertilización química	0,51	2,87	0,31

#### f. Rendimiento agrícola

Al evaluar el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento agrícola (Figura 12) se pudo observar que la inoculación de las semillas con interacciones triples T6 incrementó favorablemente el rendimiento del cultivo de fréjol en relación al T1. Las inoculaciones dobles: T2, T3, T4, T5, presentaron los valores más bajos en relación a los tratamientos antes mencionados.



**Figura 12.** Rendimiento agrícola de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Medias de los tratamientos con letras distintas difieren estadísticamente con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) ( $n=4$ ).  $EE\bar{x}$  = Error Estandar de la Media (rendimiento agrícola): 70,95.

## 6.2. Resultados para el segundo objetivo

“Realizar un análisis económico comparativo entre la aplicación de microorganismos benéficos con respecto a la utilización de fertilización química”

A partir de los costos de producción (Anexo 6), se realizó un análisis económico de los tratamientos (Tabla 7), los valores más altos de rendimientos, ingresos totales, ingreso neto y rentabilidades se obtuvieron con el T6, mientras que T7 a pesar de presentar rendimientos favorables, presentó los valores más bajos en cuanto a la rentabilidad.

**Tabla 7.** Análisis económico entre la aplicación de microorganismos benéficos con respecto a la utilización de fertilización química.

Tratamiento	Rendimiento (kgha <sup>-1</sup> )	Ingreso total (USD)	Costo de producción (USD)	Ingreso neto (USD)	Rentabilidad (%)
T2 <i>Bacillus</i>	873,1	1 920,8	1 348,0	572,8	42,5
T3 <i>Rhizobium</i>	797,1	1 753,5	1 349,1	404,5	30,0
T4 <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i>	877,4	1 930,2	1 364,8	565,4	41,4
T5 <i>Rhizobium</i> + <i>Bacillus</i>	854,6	1 880,2	1 365,9	514,3	37,7
T6 <i>Rhizobium</i> + <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i>	1 237,5	2 722,4	1 382,7	1 339,8	96,9
T7 Fertilización química	1 185,5	2 608,2	2 320,1	288,1	12,4

### 6.3. Correlación entre los parámetros evaluados

Se correlacionaron todas las variables evaluadas (Anexos 7). En la tabla 8 se destacan las correlaciones más importantes con un Pearson ( $r > 0,7$ ) y un nivel de significancia ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 8.** Coeficientes de correlación de Pearson entre los diferentes parámetros evaluados durante el ciclo del cultivo.

Variable (1)	Variable (2)	N	Pearson	p-valor
Emergencia (días)	N° nódulos (21 días)	28	-0,81	0,00
Emergencia (días)	N° nódulos (42 días)	28	-0,84	0,00
Emergencia (días)	% germinación (%)	28	-0,79	0,00
Emergencia (días)	Altura (cm-15 días)	28	-0,88	0,00
Floración (días)	Mad. Fisiológica (días)	28	0,84	0,00
Floración (días)	Cosecha (días)	28	0,77	0,00
Floración (días)	Altura (cm-45 días)	28	-0,84	0,00
Floración (días)	Peso 100 semillas	28	-0,71	0,00
Floración (días)	Rendimiento (kg ha-1)	28	-0,72	0,00
Mad. Fisiológica (días)	Cosecha (días)	28	0,83	0,00
Mad. Fisiológica (días)	Altura (cm-45 días)	28	-0,85	0,00
Mad. Fisiológica (días)	Peso 100 semillas	28	-0,76	0,00
Cosecha (días)	Altura (cm-45 días)	28	-0,81	0,00
N° nódulos (21 días)	N° nódulos (42 días)	28	0,83	0,00
N° nódulos (21 días)	% germinación (%)	28	0,73	0,00
N° nódulos (21 días)	Altura (cm-15 días)	28	0,74	0,00
N° nódulos (42 días)	% germinación (%)	28	0,81	0,00
N° nódulos (42 días)	Altura (cm-15 días)	28	0,71	0,00
Rentabilidad (%)	N° nódulos (42 días)	7	0,90	0,01
Rentabilidad (%)	% germinación (%)	7	0,80	0,03
Rentabilidad (%)	Diámetro de tallo (mm-30 días)	7	0,92	0,00
Rentabilidad (%)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	7	0,78	0,04

En cuanto a las variables fenológicas: El número de días a emergencia presentó una correlación negativa respecto a número de nódulos a los 21 y 42 días, así como con el porcentaje de germinación y altura de la planta a los 15 días. El número de días a floración presentó una correlación positiva en relación al número de días a madurez fisiológica y cosecha, y correlación negativa respecto a la altura de la planta a los 45 días, peso de 100 semillas y rendimiento. El número de días a madurez fisiológica presentó una correlación positiva con el número de días a cosecha y una correlación negativa con la altura de la planta a los 45 días y peso de 100 semillas. Así mismo, el número de días a la cosecha presentó correlaciones negativas respecto a la altura de la planta a los 45 días.

Al evaluar los parámetros de nodulación, todas las variables presentaron correlaciones positivas,

el número de nódulos a los 21 días se correlacionaron de forma positiva con el número de nódulos a los 42 días, porcentaje de germinación y altura de la planta a los 15 días; y a los 42 días el número de nódulos presentó correlaciones positivas con el porcentaje de germinación, altura de la planta a los 15 días y rentabilidad.

Así mismo la rentabilidad mostro correlaciones positivas con el porcentaje de germinación, diámetro del tallo a los 30 y con el área foliar.

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1. Discusión para el primer objetivo

“Evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos benéficos sobre parámetros productivos del cultivo de fréjol común”

#### a. Variables fenológicas

El efecto de la inoculación con los microorganismos benéficos tuvo resultados positivos en relación a las variables fenológicas. Prado, (2021) menciona en su investigación que los tratamientos a base *Rhizobium*, *Burkolderia* y consorcio (*Rhizobium* + *Burkolderia*) mejoraron la precocidad de la arveja (emergencia, floración y madurez fisiológica) en relación al control negativo o sin inocular, así mismo Zavaleta, (2021) indica que la inoculación de *Rhizobium* a base sólida y líquida en fréjol permitió una mejor precocidad respecto al tratamiento control negativo y el control positivo. En relación a estas investigaciones varios trabajos dan cuenta que las interacciones de microorganismos rizosféricos influyen directamente en los factores de precocidad, esto se debe a que *Rhizobium* hace disponible el fósforo presente en el suelo necesario para la biosíntesis de metabolitos y ATP que la planta requiere para germinar, además proporciona el nitrógeno necesario para la floración y formación de vainas (Fuentes, 1999), Así mismo Morocho y Mora, (2019) mencionan que las BPCV tienen un efecto directo en el aumento de la velocidad y porcentaje de germinación, por su efecto hormonal, similar al del ácido giberélico, aumento del vigor y crecimiento del tallo y raíces, desde la germinación hasta la emergencia de las plántulas.

#### b. Parámetros de nodulación

En cuanto a los parámetros de nodulación evaluados a los 21 y 42 días después de la siembra, se observó que el inoculante *Rhizobium* y sus interacciones tuvieron influencia positiva en las plantas inoculadas, es decir, hubo una interacción beneficiosa, lo cual coincide con estudios realizados por Colás *et al.* (2018), en donde semillas inoculadas con *Rhizobium pisi* (40983 y 40982) a los 42 días después de la siembra, presentaron mayores incrementos en el número de nódulos, mostrando los mejores resultados estadísticos con respecto al control. Los valores positivos en la nodulación con la inoculación de la cepa bacteriana se pueden atribuir a la predisposición de ambos simbioses en establecer un proceso simbiótico eficaz (Granda *et al.*, 2017).

Así mismo Sánchez *et al.* (2014) al evaluar el efecto de los tratamientos: *Rhizobium*, *Pseudomonas*, Fertilizante químico y control, en dos especies de fréjol (*P. vulgaris* L.BAT-477 y DOR-364) demostró que el tratamiento control y el fertilizante presentaron un menor número de nódulos, en relación a la inoculación de *Rhizobium pisi* (40982 y 40983) y la interacción con *Pseudomonas*, el mismo autor menciona que *Bacillus* y *Pseudomonas* son bacterias endófitas no simbióticas, incapaces de inducir nódulos y fijar nitrógeno simbióticamente, por lo cual se justifica los resultados obtenidos, en donde la inoculación de *Bacillus* y *Bacillus* + *Pseudomonas* presentaron un menor número de nódulos en relación a los evaluados con la inoculación de *Rhizobium*. Cabrera *et al.* (2017), manifestaron resultados similares donde compararon la inoculación de *Rhizobium* con la fertilización química, en la cual la aplicación de inoculante a base de *Rhizobium* indujo a la formación de mayores nódulos en relación a las plantas tratadas con fertilizante químico. Cantaro *et al.* (2019) informaron que el fertilizante químico tiene un efecto supresor sobre la nodulación, pero aun así hay presencia de nódulos y no se limita por completo.

### **c. Parámetros de crecimiento**

En cuanto al porcentaje de germinación, se observó que la inoculación con microorganismos benéficos indujo favorablemente en la germinación de las semillas de fréjol. Posiblemente el efecto positivo en la germinación de las semillas pudo estar dado, ya que las bacterias solubilizadoras de fosfato producen hormonas, como las giberelinas, que favorecen la germinación al promover la actividad de enzimas específicas promotoras de la misma, como la  $\alpha$ -amilasa, que incrementa la asimilación de almidón Gholami *et al.* (2009). Resultados similares a la presente investigación fueron informados por Romero *et al.* (2016) en el cual las semillas inoculadas con *Rhizobium etli* dieron los mejores resultados, con un porcentaje de germinación del 100 %, seguidas de *Bacillus cereus* con un 91,66 %. De manera similar, Ahmed *et al.* (2016), demostraron que el porcentaje de germinación de semillas de fréjol se vio significativamente afectado por la inoculación de *Rhizobium*, dado que la tasa de germinación más alta (90,01 %) se observó en las plantas inoculadas con *Rhizobium* y la más baja (85,36 %) se observó en las plantas no inoculadas. Las bacterias *Rhizobium* pueden mejorar la germinación de las semillas a través de la producción y liberación de algunas sustancias reguladoras del crecimiento vegetal como la auxina, las citoquininas y giberelinas favoreciendo positivamente este propósito (Gonzales *et al.*, 2019).

Los resultados analizados en cuanto a la altura de la planta tuvieron un efecto benéfico a los 15 días mediante la utilización con microorganismos benéficos, especialmente con la aplicación de *Rhizobium + Pseudomonas + Bacillus*, sin embargo, *Rhizobium* y consorcio *Rhizobium + Bacillus*, no difirió en relación al tratamiento anteriormente mencionado. Castro *et al.* (2017) indicaron que las bacterias endófitas del género *Bacillus* aplicadas como consorcio son capaces de promover el crecimiento vegetal en el cultivo de papa al adquirir nutrientes esenciales o modula el nivel de hormonas dentro de la planta, de la misma manera las bacterias disminuyen el daño a las plantas después de la infección con un fitopatógeno (Santoyo *et al.*, 2016).

A los 30 y 45 días la aplicación de *Rhizobium + Pseudomonas + Bacillus* y la fertilización química, favorecieron el crecimiento de las plantas, en ambos casos las mismas presentaron mayor altura. Los microorganismos actúan en los tejidos del crecimiento de las plantas facilitando el crecimiento y su desarrollo, esto se debe a que contribuyen con la fijación de nitrógeno en el suelo y activan la presencia de minerales de forma orgánica promoviendo en las plantas la capacidad de solubilización de elementos no disponibles (Pérez *et al.*, 2022). Así mismo Romero *et al.* (2016), al estudiar el efecto de la inoculación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal (MPCV) en el cultivo de fréjol, en estado de plántulas y en la floración observaron un incremento significativo en la altura de las plantas al aplicar *Rhizobium etli*, seguido de *Bacillus cereus*, tanto el tratamiento control y el fertilizado presentaron menor altura, datos que difieren a los resultados obtenidos en la presente investigación, en la cual donde se aplicaron fertilizantes químicos las plantas presentaron mayor altura. El efecto positivo de la inoculación de *Rhizobium* en plantas de fréjol fue verificado por Lara *et al.* (2019) alcanzando mayores resultados al inocular las semillas con *Rhizobium etli*, presentando incrementos de 140,35% con respecto a las plantas testigo. La acción realizada por *Rhizobium*, capaz de producir ácido indol acético (AIA) induce la iniciación radicular y elongación celular; la producción de citocinas favorece la división celular y la expansión de los tejidos, y las giberelinas influyen en la elongación de la plántula promoviendo de esta manera el crecimiento de las plantas (Ferrel y Soriano, 2014).

El diámetro del tallo no mostró diferencias significativas entre los tratamientos a los 15, 30 y 45 días. Resultados similares presentaron Higuita *et al.* (2019) en la cual el diámetro del tallo evaluados a los 38 días no presentaron diferencias significativas con la aplicación de los tratamientos: *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas* sp., consorcio (*Pseudomonas* sp. y *Bacillus subtilis*)

y fertilizante químico (Urea) respecto al control. Así también, Ruíz *et al.* (2020), informaron que al evaluar el diámetro del tallo de fréjol a los 15, 30, 45 y 60 días no encontraron diferencias significativas entre plantas inoculadas y no inoculadas a base de *Rhizobium etli*. Las BPCV ejercen mecanismos en los cuales aprovechan directamente el nitrógeno del aire, originando los compuestos absorbibles y lo suministran a la planta Jiménez, (2008); sintetizan diferentes fitohormonas como citosina y la auxina los cuales son responsables de que las células del cambium se dividan y multipliquen con rapidez generando un mayor diámetro del tallo en las plantas.

El tratamiento que estimuló un mayor desarrollo del área foliar fueron las plantas tratadas con el T6 (*Rhizobium + Pseudomonas + Bacillus*), sin embargo los tratamientos 3 y 5 (*Rhizobium y Rhizobium + Bacillus*), no difirieron significativamente con el tratamiento T6. Resultados contradictorios obtuvieron Higueta *et al.* (2019), al evaluar el efecto de microorganismos en cultivos de interés económico como fréjol y banano cv Williams a nivel invernadero, quienes encontraron que al inocular *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas sp.*, consorcio (*Bacillus subtilis y Pseudomonas sp.*) y el control absoluto no presentaron diferencias significativas entre sí, pero si difieren en relación al tratamiento de fertilizante químico, presentando este una menor área foliar. Anguiano *et al.* (2017) afirmaron que los microorganismos pueden colonizar los tejidos internos y externos de las plantas y con ello favorecer con el crecimiento y desarrollo de las partes vegetativas, ayudan a contribuir una mejor adquisición de nutrientes y otros recursos que favorecen el incremento de hojas, toda esta actividad se debe a la producción alta de azúcares, ácidos orgánicos y vitaminas (ácido ascórbico y ácido fólico) Luna y Mesa, (2016) los cuales son utilizados en la actividad fotosintética beneficiando el desarrollo del área foliar.

En la variable longitud de vainas el T7 (Fertilización química) presentó un mayor resultado, sin embargo, no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, Coaquira *et al.* (2020) al estudiar el efecto de microorganismos y biofertilizantes obtuvieron los mismos resultados al evaluar el efecto de la aplicación a base de *Rhizobium sp.* y el testigo o control. Según Gutiérrez, (2016) la longitud de vaina es una característica propia del cultivar (alta heredabilidad) aunque también influenciada por el ambiente.

#### **d. Componentes de rendimiento**

En cuanto a los componentes de rendimiento los tratamientos evaluados no presentaron diferencias significativas en el número de vainas por planta y número de granos por vaina, pero si en cuanto al peso de 100 semillas, en todos los casos el T1 (Control absoluto) presentó los valores más bajos. Cantaro *et al.* (2019) manifestaron resultados similares al estudiar la aplicación de dos cepas de *Rhizobium* sp. (LMT10 y LMT15), fertilización nitrogenada y control, frente a las variables evaluadas antes mencionadas, con excepción del tratamiento control, el cual según los autores no presentaron diferencias significativas. Mishra *et al.* (2014), en estudios similares destacaron el efecto de la co-inoculación de *Rhizobium leguminosarum*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas lurida*, sus interacciones y el tratamiento control, que la inoculación doble/triple mejoró el rendimiento de grano en comparación con la inoculación simple, sin embargo no presentaron diferencias. Gonzáles *et al.* (2012) mencionan que la aplicación de *Rhizobium* y micorrizas en el cultivo de fréjol negro permite optimizar el proceso de fijación del nitrógeno atmosférico, la absorción de elementos nutritivos, y por lo tanto se estimula el desarrollo vegetal aumentando el potencial productivo de las plantas. Pérez, (2019) menciona que la aplicación de microorganismos eficientes al suelo, procesa y transforma el material orgánico existente, así como las fuentes de nutrientes inorgánicos, convirtiéndolos en formas asimilables, así mismo producen fitohormonas como auxinas, giberelinas y citocininas, Ramírez *et al.* (2005) los cuales estimulan la división y alargamiento celular, así como un mejor estado nutricional de la planta, lo cual es traducido en un fruto con mayor longitud, y mayor peso, contribuyendo al aumento en la producción (Luna *et al.*, 2005).

#### **e. Contenido de nitrógeno**

Hubo mayor cantidad de N foliar acumulado en las plantas tratadas con las interacciones triples (*Rhizobium* + *Pseudomonas* + *Bacillus*) y *Rhizobium*. Stajković *et al.* (2011) al evaluar el contenido de nitrógeno en fréjol bajo condiciones de invernadero, reportaron que la combinación de BPCV con *Rhizobium* incrementó el contenido de nitrógeno, en comparación con la aplicación individual de *Rhizobium*. Wahyudi *et al.* (2011), mencionan que algunas cepas, tanto de *Rhizobium* como de *Bacillus*, presentan producción de sideróforos compuestos relacionados con la disponibilidad de Fe para las plantas y que influyen de manera positiva con la eficiencia de fijación de nitrógeno en leguminosas. Una mayor acumulación de N posiblemente esté relacionada con el

efecto positivo *Bacillus* y *Rhizobium* sobre la formación de nódulos, sin embargo el tratamiento con *B. mycoides*, en el cual hubo el mayor desarrollo de nódulos activos no correspondió a un mayor incremento en nitrógeno foliar, aun cuando incrementó en un 6 % con respecto al control. (Valero *et al.*, 2021).

#### **f. Rendimiento agrícola**

Las inoculaciones triples superaron los valores de rendimiento en relación al tratamiento control, pero no difieren con la fertilización química. Entre los diversos estudios realizados para evaluar el aumento en rendimiento promovido por los microorganismos benéficos, se tiene el de Colás *et al.* (2018), quienes evaluaron la acción de biofertilizantes, encontrando un incremento positivo en el rendimiento agrícola con la inoculación de las especies de *Rhizobium* en comparación con el control, el cual sugiere que pueden ser usadas como estimulantes del rendimiento agrícola, bajo condiciones similares a las del estudio y sobre todo en una agricultura sostenible. Así mismo, Granda *et al.* (2017) al evaluar el efecto en campo de la cepa nativa COL6 de *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* obtuvieron resultados similares, el rendimiento agrícola estimado fue significativamente mayor al aplicar el inoculante bacteriano, obteniendo 1,77 t ha<sup>-1</sup> con la inoculación biológica, lo que estuvo en correspondencia con lo alcanzado en el tratamiento de fertilización química.

#### **7.2. Discusión para el segundo objetivo**

“Realizar un análisis económico comparativo entre la aplicación de microorganismos benéficos con respecto a la utilización de fertilización química”.

Al analizar el efecto de la aplicación de microorganismos benéficos se pudo encontrar un efecto positivo, en el cual el T6 (*Rhizobium* + *Pseudomonas* + *Bacillus*) presentó una mayor rentabilidad, mientras que el T7 (Fertilización química) aunque presentó buenos rendimientos la rentabilidad fue baja, esto se debe a que los costos de producción aumentan y como consecuencia tiene efectos negativos en la rentabilidad. Diversos autores analizaron los costos de producción y rentabilidad entre ellos se encuentran: Vilchez, (2015) el cual manifiesta que la aplicación de fertilizantes químicos y las cepas de *Rhizobium* presentaron mayores rendimientos, siendo los costos de producción no muy variados permitió obtener un mayor rendimiento. Así mismo Villana, (2015)

al evaluar las distintas cepas de *Rhizobium* presentó los mismos resultados del autor antes mencionado.

### **7.3. Análisis de correlación entre los parámetros evaluados**

El análisis de correlación entre las variables evaluadas (fenológicas, parámetros de nodulación, crecimiento, componentes de rendimiento, rendimiento agrícola y rentabilidad) se muestran las más importantes con un coeficiente de correlación Pearson  $>0,7$  y un nivel de significancia ( $p<0,05$ )

El número de días de emergencia influyo negativamente con el número de nódulos a los 21 y 42 días, por lo que a mayores días de emergencia el número de nódulos disminuye González, (2010), menciona que los nódulos se forman muy pronto en la vida de la plántula y generalmente aparece muy poco después de la emergencia de los cotiledones. Al igual el número de días de emergencia influye negativamente en el porcentaje de emergencia.

Así mismo la altura de la planta a los 15 y 45 días presentó correlación negativa en relación a las variables fenológicas (número de días a emergencia, floración, madurez fisiológica y cosecha). Romero *et al.* (2018) en sus investigaciones encontró resultados similares en las cuales la altura de la planta de frijol común se relacionó negativa y significativamente con el número de días a inicio de floración y días a floración.

La floración influye de manera positiva en relación a las variables número de días a madurez fisiológica y cosecha. De la misma manera el número de días a floración y madurez fisiológica influye manera negativa con el peso de 100 semillas y el rendimiento agrícola. Igualmente el número de días a madurez fisiológica influye positivamente en relación al número de días a cosecha. Morales *et al.* (2015) y Romero *et al.* (2018) encontraron correlaciones en cuanto al número de días a inicio de floración y días a floración las cuales se relacionaron negativamente con el peso de 100 semillas y de manera positiva con el rendimiento. Sin embargo González y Ligarreto, (2006) encontraron correlaciones negativas entre el rendimiento y días a floración.

El número de nódulos evaluados a los 21 días presentó correlaciones positivas con el número de nódulos a los 42 días, porcentaje de germinación y altura de la planta a los 15 días. A sí mismo el número de nódulos mostró correlaciones positivas con las variables porcentaje de emergencia y

altura de la planta a los 15 días. González *et al.* (2012) menciona que el crecimiento del cultivo de frijol está influenciado por los nódulos a que los nódulos producen compuestos de nitrógeno que ayudan a la planta a crecer.

Así mismo la rentabilidad está influenciada de forma positiva con las variables: número de nódulos a los 42 días, porcentaje de germinación, diámetro del tallo a los 30 días y área foliar.

## 8. CONCLUSIONES

- ✓ La aplicación de microorganismos benéficos influyeron positivamente en las variables evaluadas, el T6 (*Rhizobium* + *Pseudomonas* + *Bacillus*) presentó mejores resultados en relación al control absoluto, lograron acortar las variables fenológicas (9,8 %), incrementaron los parámetros de nodulación (48,9 %), componentes de crecimiento: porcentaje de germinación (15,7 %), altura de la planta (19 %), área foliar (31,88 %), componentes de rendimiento: peso de 100 semillas (26,68 %), contenido de nitrógeno (21,2 %) y rendimiento agrícola (50,9 %).
- ✓ Los resultados conseguidos evidencian que la inoculación del consorcio (*Rhizobium* + *Bacillus* + *Pseudomonas*) podrían reemplazar el uso convencional de fertilizantes químicos, debido a que el T6 generó mayores beneficios económicos, incrementando el rendimiento en un 4,2 %, de igual manera su rentabilidad fue 84,5 % más rentable en relación al fertilizante químico.

## **9. RECOMENDACIONES**

- ✓ Efectuar estudios de inoculantes a base de turba y líquidos para determinar la eficiencia y efectividad de las cepas como es la supervivencia de la bacteria en el inoculante o sobre la semilla.
- ✓ Estudiar si la aplicación de inoculantes a base de turba o líquidos mediante la inoculación con adherentes, permite garantizar una mayor retención de bacterias en la superficie de las semillas.
- ✓ Realizar un análisis de suelo al iniciar el experimento y al culminarlo con la finalidad de conocer si influyen en la modificación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, I., Khan, M. A., Ahmed, N., Khan, N., Khan, S., Yazdan, F., Marwat, S., y Biosci, I. J. (2016). Influence of *Rhizobium* inoculation on nodules, growth and yield of french beans cultivars. *International Journal of Biosciences* (IJB), 9(6), 226–233. <https://doi.org/10.12692/ijb/9.6.226-233>
- Álvarez Córdova, E. (2018). Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Centro nacional de tecnología agropecuaria y forestal. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. La Libertad, El Salvador. Recuperado en: [http://centa.gob.sv/gdocs/guias/granos%20basicos/Guia%20Centa\\_Frijol%202019.pdf](http://centa.gob.sv/gdocs/guias/granos%20basicos/Guia%20Centa_Frijol%202019.pdf)
- Álvarez, J., Santoyo, G., y Rochas, M. del C. (2020). *Pseudomonas fluorescens*: Mecanismos y aplicaciones en la agricultura sustentable. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 16(1), 01–10. <https://doi.org/10.33154/rlrn.2020.01.01>
- Ángeles, J. G., y Cruz, T. (2015). Aislamiento, caracterización molecular y evaluación de cepas fijadoras de nitrógeno en la promoción del crecimiento de frijol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5): 929–942 <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i5.588>
- Anguiano Soto, J. M., Anguiano Cárdenas, J., y Palma García, J. M. (2017). Inoculación de sustrato con bacterias del ácido láctico para el desarrollo de plántulas de Moringa oleífera Lam. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(2), 241-247. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2079-34802017000200010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-34802017000200010)
- Arcos, J., y Rojas, D., 2015. Recomendaciones para la producción de grano de fríjol biofortificado en Colombia. Recuperado en: [http://lac.harvestplus.org/wp-content/uploads/2020/04/manual\\_produccion\\_siembra\\_frijol\\_biofortificado.pdf](http://lac.harvestplus.org/wp-content/uploads/2020/04/manual_produccion_siembra_frijol_biofortificado.pdf)
- Arora, N.K., Balestrini, R., y Mehnaz, S., (2016). Bioformulations: for sustainable agriculture. *Bioformulations: Sustainable Agric.* 1-299
- Basantes, E. 2015. Manejo de cultivos andinos del Ecuador. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Primera edición. Quito-Ecuador p. 213
- Bertsch, F., Hernández, J., Arguedas, F., y Acosta, M. (2003). Curvas de absorción de nutrimentos en dos variedades, Bribri y sacapobres, de frijol común de grano rojo. *Agronomía Costarricense*, 27(2): 75–81.
- Bianco, L. (2020). Principales aspectos de la nodulación y fijación biológica de nitrógeno en Fabáceas. *IDESIA*, 38(2): 21–29.
- Bisen, K., Keswani, C., Mishra, S., Mishra, S., Saxena, Amrita., Rakshit, Amitava., y Singh, H.,

2015. Unrealized Potential of Seed Biopriming for Versatile Agriculture. Primera edición. New Delhi.
- Bremner, J.M. y Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen-Total. In: Methods of soil analysis. Part 2. *Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, Inc. 2da edición. Madison, USA. pp. 595-624.
- Cabrera R., Y. L., Santana B., Y., y Miranda I., E. (2017). Efecto de la inoculación de *Rhizobium* sobre el crecimiento de *Phaseolus vulgaris* (frijol) en condiciones semicontroladas. *Avances*, 19(1): 66-74
- Cantaro, H., Huaranga, A., y Zúñiga, D. (2019). Efectividad simbiótica de dos cepas de *Rhizobium* sp. en cuatro variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Perú. *IDESIA*, 37(4): 73–82
- Calero, A., y Olivera, D. (2014). Utilización de microorganismos eficientes y Azofert en el comportamiento agroproductivo de la variedad de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), Velasco largo. In XI Congreso de SEAE: «Agricultura ecológica familiar». Vitoria-Gasteiz (Álava) (pp. 1-4).
- Castro, Á., Hernández, F., Ochoa, Y., Gallegos, G., Castillo, F., y Tucuch, F. (2017). Endophytic Bacteria Controlling *Fusarium Oxysporum* and *Rhizoctonia solani* in *Solanum tuberosum*. *European Journal of Physical and Agricultural Science*, 5(1), 29–39.
- Chávez, I., Zelaya, L., Cruz, C., Rojas, E., Ruíz, S., y Villalobos, S. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro- biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1423–1436. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>
- Chicaiza, J., Garcia, H., Giler, K., y Andrade, M. (2019). Crecimiento poblacional de la bacteria rhizobium al asimilar diferentes fuentes de carbono Population. *Mundo Recursivo*, 2: 19–33
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1986. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L). Primera edición. Cali, Colombia. Recuperado en: [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/ciat\\_digital/ciat/28093.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/ciat_digital/ciat/28093.pdf)
- Coaquira, F., Huaranga, A., y Juscamaita, J. (2018). Efecto de la inoculación con *Rhizobium* sp., *Trichoderma* sp . y de la aplicación de biofertilizantes sobre el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L .) Blanco Molinero. *Cadernos de Agroecología*, 13(1).
- Coaquira, L. F. de M., Amelia, H. J., y Juan, J. M. (2020). Inoculación con *Rhizobium* sp, *Trichoderma* sp y aplicación de biofertilizantes sobre el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agroecología: Caminho de Preservação Do Meio Ambiente* 2, April, 107–116.

<https://doi.org/10.22533/at.ed.16220290413>

- Colás Sánchez, A., Díaz Pérez, B., Rodríguez Urrutia, A., Gatorno Muñoz, S., y Rodríguez López, O. (2018). Efecto de la biofertilización en la morfo fisiología y rendimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Centro Agrícola*, 45(4): 34–42
- Coprocál. (2015). Guía de uso Cal Agrícola. Cuarta edición. Chile. Recuperado en: [https://puntoganadero.cl/imagenes/upload/\\_5cdc5dda3aa85.pdf](https://puntoganadero.cl/imagenes/upload/_5cdc5dda3aa85.pdf)
- Corrales, L., Caycedo, L., Gómez, M., Ramos, S., y Rodríguez, J. (2017). *Bacillus* spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *Nova*, 15(17), 45–65. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/nova/article/view/1958/2179>
- Curay, J. (2019). Evaluación agronómica de tres variedades de Fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo las condiciones climáticas de la comunidad de Rumichaca del cantón Pelileo. Tesis de grado. Cevallos, Ecuador: Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ingeniería Agronómica. Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30037/1/Tesis-237%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20640.pdf>
- Díaz-Franco, A., Alvarado-Carrillo, M., Alejandro-Allende, F., y Ortiz-Chairez, F. E. (2017). Uso de abono orgánico y micorriza arbuscular en la producción de repollo. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 16(1): 15–21. <https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2017.02.003>
- Escobar, C., Horna, Y., Carreño, C., y Mendoza, G. (2011). Caracterización de cepas nativas de *Azotobacter* spp. y su efecto en el desarrollo de *Lycopersicon esculentum* Mill. “Tomate” en Lambayeque. *Scientia Agropecuaria*, 2(1), 39–49.
- Espinoza, J. (2021). Efecto de dos niveles de sombra y nutrición sobre el crecimiento y desarrollo vegetativo en cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN51 en la provincia de Zamora Chinchipe. Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Loja, Ecuador: Facultad agropecuaria y de recursos naturales renovables. Universidad Nacional de Loja.
- FAO. (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. World crop and livestock statistics 1948-85. La Red de Información sobre Operaciones en Poscosecha (INPhO). Disponible en <http://www.fao.org/ag/agl/rla128/iiiap2/capituloiii.com>
- FAO. (2018). Legumbres. Pequeñas semillas, grandes soluciones. Ciudad de Panamá. Recuperado en: <http://www.fao.org/3/ca2597es/CA2597ES.pdf>
- Fernández Canigia, M. (2020). *Factores determinantes de la nodulación*. (1ra. ed.). Ciudad

Autónoma de Buenos Aires. Recuperado en:  
[https://images.engormix.com/externalFiles/6\\_factores\\_determinantes\\_de\\_la\\_nodulacion.pdf](https://images.engormix.com/externalFiles/6_factores_determinantes_de_la_nodulacion.pdf)

- Ferrel, N., y Soriano, B. (2014). Efecto de *Rhizobium etli* en el crecimiento de plántulas de caña de azúcar, *Saccharum officinarum*, en condiciones de laboratorio. *Rebiolest*, 2(1), 1–12.
- Ferrer, T. H. (2020). Abonamiento orgánico en el rendimiento del cultivo de frejol (*Phaseolus Vulgaris* L.) variedad canaria, en condiciones edafoclimáticas de San Pedro de Chonta, Cholón, Marañón-2018. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Huánuco, Perú: Facultad de ciencias agrarias. Universidad Nacional Hermilio Valdizán – Huánuco.
- Flor, M., (1985). *Revisión de algunos criterios sobre la recomendación de fertilizantes en frijol*. [en línea]. Recuperado de <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/81873>
- Fuentes, J. (1999). El suelo y los fertilizantes. 5ta. Edición. Madrid – España. Editorial Mundi – Prensa.
- García, C. (2015). Validación de un bioinoculante a base de bacterias diazotróficas en el crecimiento, desarrollo y rendimiento agrícola de (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis previa a la obtención del título de Ingeniera Agrónomo. Loja, Ecuador: Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10029/1/Tesis%20Diana%20Carolina%20Garc%C3%ADa.pdf>
- García, L., Capera, A., Mayorquín, N., y Melendez, J. P. (2020). Alternativas microbiológicas para la remediación de suelos y aguas contaminados con fertilizantes nitrogenados Microbiological alternatives for the remediation of soils and water contaminated with nitrogen fertilizers. *Scientia et Technica*, 25(01), 172–182. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7368100>
- Garzón, L. P. (2016). Importancia de las Micorrizas Arbusculares (Ma) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. *Revista Luna Azul*, (42), 217-234.
- Gholami, A., Shahsavani, S., y Nezarat, S. (2009). The effect of elant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. *International Scholarly and Scientific Research y Innovation*, 3(1), 9–14.
- Gomes, G., Moritz, A., Freiria, G., Furlan, F., y Takahashi, L. (2016). Desempenho produtivo de genótipos de feijão-vagem arbustivo em dois ambientes. *Scientia Agropecuaria*, 07(02), 85–92. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.01>
- Segura, D. (2022). Fortalecimiento de la productividad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.)

con fertilización nitrogenada y potásica, cantón Alfredo Baquerizo Moreno, provincia del Guayas, Universidad de Guayaquil: Facultad de Ciencias Agrarias. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/59558/1/TRABAJO%20DE%20TITULACI%20c3%93N%20-%20Daniela%20Segura.pdf>

González, F. y Ligarreto, G. (2006). Rendimiento de ocho genotipos promisorios de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.) bajo sistema de agricultura protegida. *Fitotecnia Colombiana* 6(2):5 2-61.

González, J. (2010). Evaluación de la capacidad de nodulación radicular de diez especies de leguminosas en Tingo María. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Tingo María-Perú: Ingeniería Agronómica. Facultad de agronomía. Universidad nacional agraria de la selva.

González, R. L., Núñez Sosa, D. B., y Barceló Díaz, R. (2012). Efecto de la aplicación de *Rhizobium* y Mycorriza en el crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L) variedad CC-25-9 negro. *Centro Agrícola*, 39(4), 17–20.

Gonzales, E., Alcarraz, M., Castro, A., y Casas, S. (2019). Efecto del biofertilizante *Azotobacter-Rhizobium* en tarwi (*Lupinus mutabilis*), como alternativa a la fertilización química. *Ciencia e Investigación*, 21(2), 7–12. <https://doi.org/10.15381/ci.v21i2.15855>

Granda Mora, K., Alvarado Capo, Y., y Torres Gutierrez, R. (2017). Efecto en campo de la cepa nativa COL6 de *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* sobre frijol común cv. Percal en Ecuador. *Centro Agrícola*, 44(2), 5–13. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0253-57852017000200001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852017000200001)

Higuita, A., Restrep, A., y Posada, L. (2019). Desarrollo de un bioinsumo agrícola con base en un consorcio de *Bacillus subtilis*- *Pseudomonas* sp. In *Ingeniería de Procesos* (Vol. 1). Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico.

Huachi, L. (2015). Evaluación de las hojas de canchaqui, presentes en Mojanda (Imbabura-Ecuador), como especie vegetal fijadora de nitrógeno. Tesis de Ingeniero en Biotecnología de los Recursos Naturales. Quito, Ecuador: Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9411/1/UPS-QT07137.pdf>

Gurtiérrez, Y. (2016). Extractos de algas marinas en el rendimiento y calidad de vainita (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo condiciones de la molina. Lima, Perú: Trabajo de titulación para optar el título de: Ingeniero agrónomo, Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2590/F04-G8834-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ikbal, Passricha, N., Saifi, S. K., Sikka, V. K., y Tuteja, N. (2020). Multilegume biofertilizer: a dream. *In Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture* 35–45. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818469-1.00003-1>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2017). *Anuario meteorológico Nº 53-2013*. [en línea]. Recuperado de [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum\\_institucion/anuarios/meteorologicos/Am\\_2013.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf)
- Jiménez, M. (2008). Manejo de cultivos con biofertilización: fijadores biológicos de nitrógeno. Importancia de microorganismos benéficos en los cultivos. 2008, vol 8, núm. 5, p. 20-65
- Kumar, A., Bahadur, I., Maurya, B. R., Raghuwanshi, R., Meena, V. S., Singh, D. K. y Dixit, J. (2015). Does a plant growth-promoting rhizobacteria enhance agricultural sustainability? *J. Pure Appl. Microbiol.* 9(1):715-724.
- Lara, M., (2015). El cultivo del frijol en México. *UNAM*, 16(2)
- Lara, L., Hernández, L., Reyes, J., Preciado, P., y Zulueta, R. (2019). Respuesta agronómica de *Phaseolus vulgaris* a la biofertilización en campo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1035–1046. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.936>
- Lata-Tenesaca, L., Villaseñor-Ortiz, D., y Chabla-Carrillo, J. (2017). Fraccionamiento de la absorción de nutrientes en cuatro etapas fenológicas del cultivo de fréjol. *Universidad y Sociedad*, 9(1): 20–27
- Luna, M., y Mesa, J. (2016). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4(2), 31–40.
- Luna, E., Castillo, C., Navarro, E., y Carrillo, E. (2005). Efecto de productos con reguladores de crecimiento sobre la floración y amarre de fruto en Chile “Habanero.” *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(1), 93–98.
- Luzón, Z. (2016). Respuesta de la quinua variedad tunkahuan a la fertilización nitrogenada, en las condiciones edafoclimáticas de La Argelia. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Loja, Ecuador: Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional de Loja. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10110/1/TESIS\\_STALIN\\_LUZÓN\\_ZUMBA.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10110/1/TESIS_STALIN_LUZÓN_ZUMBA.pdf)
- Mabrouk, Yassine., Hemissi, Imen., Salem, Issam., Mejri, Sonia., Saidi, Mouldi., y Belhadj, Omrane., (2018). Potential of Rhizobia in Improving Nitrogen Fixation and Yields of Legumes. Recuperado en: <https://www.intechopen.com/chapters/59280>

- Marcial, S. (2017). *Problemas de Producción del Frijol en los Tópicos* [documento en pdf]. [http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/Digital/SB327.P76\\_Problemas\\_de\\_produccion\\_del\\_frijol\\_en\\_los\\_tropicos.pdf](http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/SB327.P76_Problemas_de_produccion_del_frijol_en_los_tropicos.pdf)
- Maughan, H., y Van der Auwera, G. (2011). *Bacillus* taxonomy in the genomic era finds phenotypes to be essential though often misleading. *Infection, Genetics and Evolution*, 11(5): 789–797.
- Mendes, R., Garbeva, P., y Raaijmakers, J. M. (2013). The rhizosphere microbiome: Significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5): 634–663. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12028>
- Miljaković, D., Marinković, J., y Balešević-Tubić, S. (2020). The significance of *Bacillus* spp. In disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops. *Microorganisms*, 8(7): 1–19. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8071037>
- Mishra, P. K., Bisht, S. C., Jeevanandan, K., Kumar, S., Bisht, J. K., y Bhatt, J. C. (2014). Synergistic effect of inoculating plant growth-promoting *Pseudomonas* spp. and *Rhizobium leguminosarum*-FB1 on growth and nutrient uptake of rajmash (*Phaseolus vulgaris* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(6), 799–815. <https://doi.org/10.1080/03650340.2013.843773>
- Morales Rivera, A., López Castañeda, C., Kohashi Shibata, J., Miranda Colín, S., y García Esteva, A. (2015). Comparación de los componentes del rendimiento en variedades de frijol en condiciones de acidez y humedad residual del suelo en el sur de Veracruz. *Terra Latinoamericana*, 33(4), 309-319
- Morocho, M. T., y Mora, M. L. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2): 93–103. <http://cagricola.uclv.edu.cu>
- Moya, C., Mesa, M., Vizcaino, M., León, M., y Guevara, S. (2019). Comparación de seis variedades de frijol en el rendimiento y sus componentes en Chaltura, Imbabura, Ecuador. *INCA*, 40(4).
- Muñoz, G., Giraldo, G., y Fernández, J. (1993). Descriptores varietales: arroz, frijoles, maíz, sorgo. Disponible en [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos\\_ciat/descriptores\\_varietales.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/descriptores_varietales.pdf)
- Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, Z. A., Javaid, A., y Ashraf, M. (2014). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances*, 32(2): 429–448. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.12.005>
- O’Callaghan, M. (2016). Microbial inoculation of seed for improved crop performance: issues and

- opportunities. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(13): 5729–5746. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7590-9>
- Ospina, H. F., y Debouck, D. G., (1980). *Morfología de la planta de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Parra, A. (2014). Microorganismos del suelo y biofertilización. *Crops for Better Soil*.
- Pérez, A., y Landero, C. (2009). Agricultura y deterioro ambiental. *Elementos*, 73(16), 19–25.
- Pérez, S., Coto, O., Echemendía, M., y Ávila, G. (2015). *Pseudomonas fluorescens* Migula, ¿control biológico o patógeno? *Rev. Protección Veg.*, 30(3), 225–234. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=113136301&lang=es&site=ehost-live>
- Pommeresche y Hansen. 2017. Examinando la actividad de los nódulos en raíces de leguminosas. CIFA. Cantabria, España. Recuperado en: <https://orgprints.org/id/eprint/31344/7/pommeresche-hansen-2017-root-nodules-spanish.pdf>
- Prado, G. (2021). Efecto de la co-inoculación de *Burkholderia ubonesis* y *Rhizobium* spp. Sobre el rendimiento de *Pisum sativum* cultivada en Mache-Otuzco-La Libertad. Tesis para optar el grado académico de: Doctor en ciencias ambientales. Trujillo, Perú: Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/17903/Prado%20Ch%c3%a1varri%2c%20Gardenia%20Lizet.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez-Bahena, M. H., Peix, Á., Velázquez, E., y Bedmar, E. J. (2016). History of research on Legume-Rhizobia symbiosis: a teaching approach. *Arbor*, 192(779), 319. <https://doi.org/10.3989/arbor.2016.779n3009>
- Reis, V. M., Alves, B. J. R., Hartmann, A., James, E. K., y Zilli, J. E. (2020). Beneficial microorganisms in agriculture: the future of plant growth-promoting rhizobacteria. *Plant and Soil*, 451: 1–3. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04482-8>
- Reyes, G., y Cortés, J. (2017). Intensidad en el uso de fertilizantes en América Latina y El Caribe ( 2006-2012 ). *Bioagro*, 29: 45–52.
- Rigby, D., y Cáceres, D. (2001). Organic farming and the sustainability of agricultural systems. *Agricultural Systems*, 68(1): 21–40. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(00\)00060-3](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00060-3)
- Rivas, J. (2004). Evaluación de 8 líneas avanzadas de Frijol Común (*Phaseolus vulgaris L.*) en dos localidades de El Progreso, Guatemala. Tesis de grado. Guatemala: Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.

[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2096.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2096.pdf)

- Rodríguez, B., y López, M. (2009). Evaluation of the biological fertilization on cowpea with native *Rhizobium* strains isolated from an ultisol in landplane Guarico state. *Agronomía Tropical (Maracay)*, 59(4): 381-386
- Rodríguez, A. 1996. Principios básicos de nutrición mineral para ser aplicado en hidroponía. Separata de laboratorio del curso de fisiología vegetal. UNALM. Lima Perú.
- Romero, V., García, V., Hernández, J., y Sánchez, J. (2016). *Phaseolus vulgaris* response to plant growth promoting microorganisms. *Scientia Agropecuaria*, 7(3), 313–319. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.20>
- Romero-Félix, C. S., López-Castañeda, C., Kohashi-Shibata, J., Martínez-Rueda, C. G., Martínez-Ruedo, S., y Aguilar-Rincón, V. H. (2019). Ambiente y genotipo: Efectos en el rendimiento y sus componentes, y fenología en frijol común. *Acta Universitaria*, 28(6), 20–32. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1760>
- Ruíz, R., Ballina, H., Ruíz, E., y Cristóbal, J. (2020). Efecto de la asociación de *Rhizobium etli* - *Phaseolus vulgaris* L. sobre el crecimiento vegetal y la preferencia de *Bemisia tabaci*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(20).
- Sánchez, A., Gutiérrez, R., Santana, R., Urrutia, A., Fauvart, M., Michiels, J., y Vanderleyden, J. (2014). Effects of co-inoculation of native *Rhizobium* and *Pseudomonas* strains on growth parameters and yield of two contrasting *Phaseolus vulgaris* L. genotypes under Cuban soil conditions. *European Journal of Soil Biology*, 62, 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2014.03.004>
- Sanchez Yañez, J. M., Barrientos Rodriguez, M. G., Balderas León, I., Dasgupta-Schuber, N., y Márquez-Benavides, L. (2014). Bean responds to Endospor 33® at reduced dose of Nitrogen and Phosphate fertilizer in protected agriculture. *Scientia Agropecuaria*, 5, 77–83. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.02.02>
- Santos, M. S., Nogueira, M. A., y Hungria, M. (2019). Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *AMB Express*, 9(1): 1-22. <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0932-0>
- Santoyo, G., Moreno-Hagelsieb, G., del Carmen Orozco Mosqueda, M., y Glick, B. R. (2016). Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiological Research*, 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.008>
- Schweizer Lassaga, Susana. (2011). *Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad*

[documento en pdf]. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P33-9965.pdf>

- Sharma, V., Salwan, R., Sharma, P. N., y Kanwar, S. S. (2017). Elucidation of biocontrol mechanisms of *Trichoderma harzianum* against different plant fungal pathogens: Universal yet host specific response. *International Journal of Biological Macromolecules*, 95: 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.042>
- Sharma, V., Sharma, A., y Salwan, R. (2020). Overview and challenges in the implementation of plant beneficial microbes. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*, 2: 1–18. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818469-1.00001-8>
- Stajković, O., Delić, D., Jošić, D., Kuzmanović, D., Rasulić, N., y Knežević-Vukčević, J. (2011). Improvement of common bean growth by co-inoculation with *Rhizobium* and plant growth-promoting bacteria. *Romanian Biotechnological Letters*, 16(1), 5919–5926.
- Torres Navarrete, E., Quisphe Caiza, D., Sánchez Laíño, A., Bermeo Reyes, M., González Osorio, B., Torres Navarrete, Alexandra; Cedeño Briones, A., y Haro Chong, A. (2014). Caracterización de la producción de fríjol en la provincia de Cotopaxi Ecuador: Caso Comuna Panyatug. *Ciencia y Tecnología*, 6(1): 23–31. <https://doi.org/10.18779/cyt.v6i1.88>
- Ube Anchundia, J. L. (2021). Importancia del nitrógeno para el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de café (*Coffea* spp.) en Ecuador. BABAHOYO: UTB. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/9351/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000150.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valero, N., Vergal, C., Ustate, Y., y Gómez, L. (2021). Bioestimulación de frijol guajiro y su simbiosis con *Rhizobium* por ácidos húmicos y *Bacillus mycoides*. *Revista Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(2), 119–134.
- Valladares C. 2010. Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano. Recuperado en: <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/unidad-ii-taxonomia-botanica-y-fisiologia-de-los-cultivos-de-grano-agosto-2010.pdf>
- Valverde, L., y Morocho J. (2014). Determinación del rango óptimo del potencial matricial del suelo en el cultivo de fresa (*Fragaria vesca*) bajo riego por goteo en la Estación Experimental la Argelia. Tesis de grado. Loja, Ecuador: Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11782/1/Tesis%20Final%20Biblioteca.pdf>
- Viera Arroyo, W. F. (2020). Rol de los microorganismos benéficos en la Agricultura Sustentable. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2): 67–68. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080200067>

- Vilchez, A. (2015). Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Molinero PLV 1-3 con fertilización fosforo-potásica y cepas de *Rhizobium* sp. en la Molina [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://core.ac.uk/download/pdf/162861095.pdf>
- Villalobos, S., Robles, R. I., Parra, F. I., Larsen, J., Lozano, P., y Tiedje, J. M. (2019). *Bacillus cabrialesii* sp. Nov., an endophytic plant growth promoting bacterium isolated from wheat (*triticum turgidum* subsp. durum) in the yaqui valley, Mexico. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 69(12): 3939–3945.
- Villegas, Y., Carrillo, J., Jerez, M., y Jarquín, B. (2009). Evaluación de una huerta orgánica como un modelo de producción intensiva de cultivos asociados. *Revista Brasileira de Agroecología*, 4(2): 3534-3537.
- Wahyudi, A. T., Astuti, R. P., Widyawati, A., Meryandini, A., y Nawangsih, A. A. (2011). Characterization of *Bacillus* sp. strains isolated from rhizosphere of soybean plants for their use as potential plant growth for promoting Rhizobacteria. *Journal of Microbiology and Antimicrobials*, 3(2), 34–40.
- Yanez, D. (2017). Desarrollo fenológico del cultivo del fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Cargabello en el cantón Bucay provincia del Guayas. Tesis de Ingeniero Agropecuario. Ambato, Ecuador: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25091>
- Young, J. M., Zealand, N., Albert, M., y Bage, P. (2015). *Rhizobium*. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, 1–36.
- Zavaleta, E. (2021). Efecto de un inoculante microbiano multicepa en los componentes del rendimiento de *Pisum sativum* cultivada en Mache, La Libertad. Tesis para obtener el grado académico de: Doctor en microbiología. Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/17744/Zavaleta%20Verde%20c%20Edgar%20David.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## 11. ANEXOS

### ANEXO 1. Fotografías

#### ANEXO 1. 1. Análisis de suelo



**Figura 13.** Extracción de suelo



**Figura 14.** Muestras colectadas



**Figura 15.** Homogenización de muestras



**Figura 16.** Muestra lista para analizar en el laboratorio

#### ANEXO 1. 2 Preparación del terreno



**Figura 17.** Preparación del terreno



**Figura 18.** Aplicación de cal



**Figura 19.** División de parcelas

ANEXO 1. 3. Preparación de los diferentes tratamientos a aplicar y siembra



Figura 20. Pesado de los insumos y productos a emplear



Figura 21. Siembra por golpe

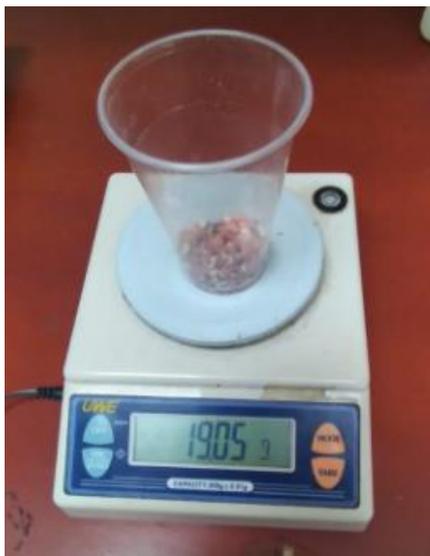
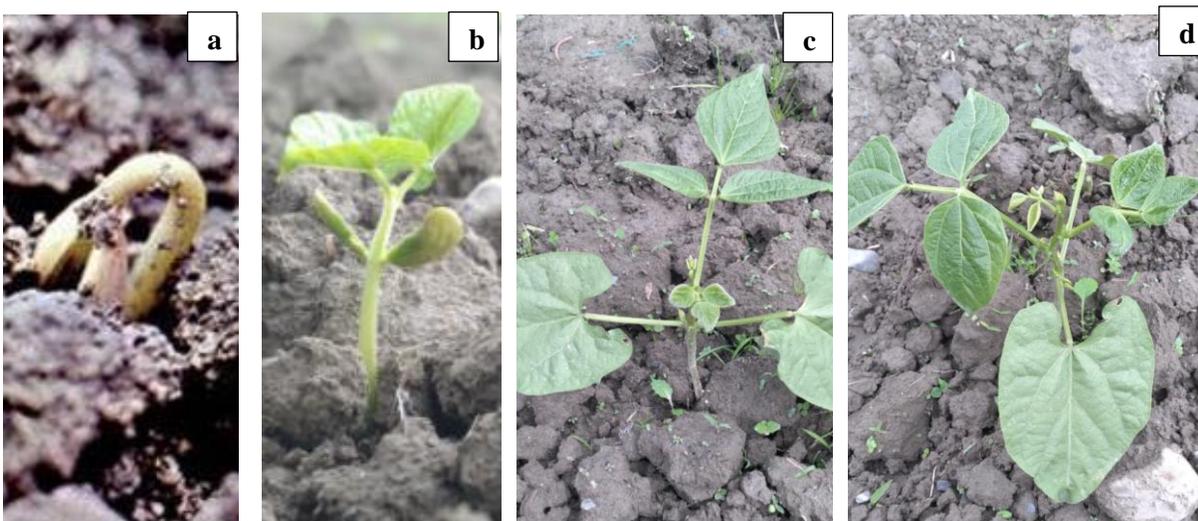


Figura 22. Pesado de la dosificación química de fertilizantes a aplicar

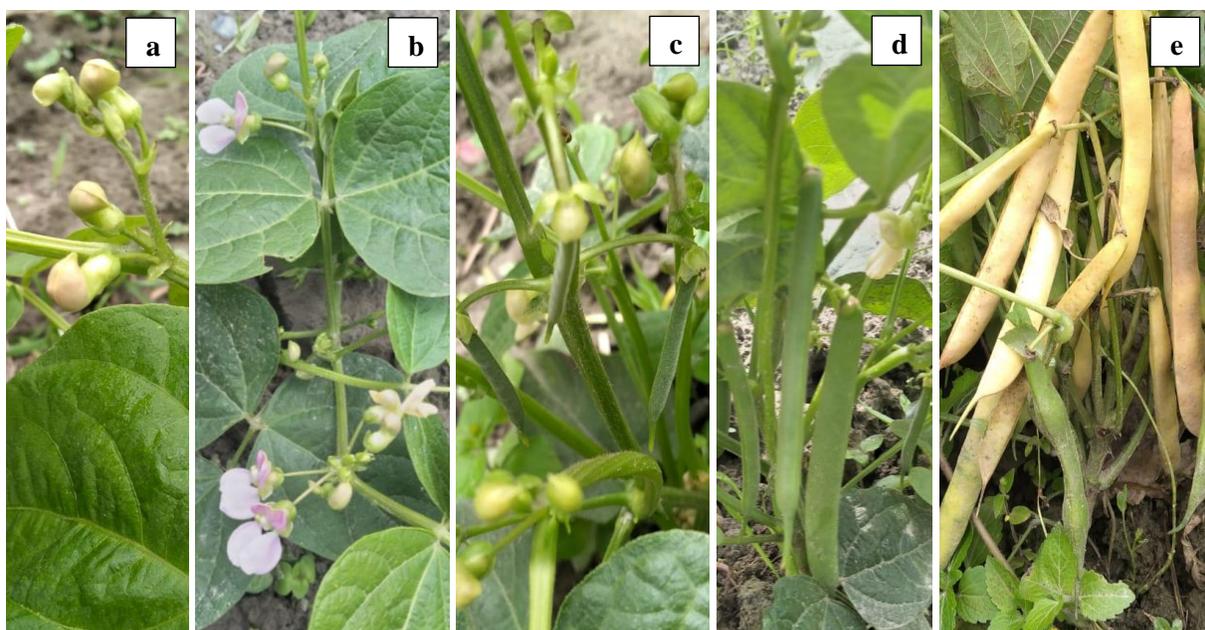


Figura 23. Fertilización química del cultivo

#### ANEXO 1. 4. Evaluación de variables fenológicas



**Figura 24.** Etapa vegetativa del fréjol: a. emergencia, b. hojas primarias, c. primera hoja trifoliada, d. tercera hoja trifoliada.



**Figura 25.** Etapa reproductiva del fréjol: a. prefloración, b. floración, c. formación de las vainas, d. llenado de vainas, e. maduración.

## ANEXO 1. 5. Análisis de parametros de nodulación



**Figura 26.** Lavado de las muestras recolectadas



**Figura 27.** Secado de la raíz con los nódulos previo al conteo de los mismos

## ANEXO 1. 6. Evaluación de variables de crecimiento



**Figura 28.** Toma de datos de la variable altura



**Figura 29.** Toma de datos de la variable diámetro



**Figura 30.** Toma de datos del area de la hoja



**Figura 31.** Toma de datos de la longitud de vaina

## ANEXO 1. 7. Evaluación de componentes de rendimiento



**Figura 32.** Conteo de número de vainas por planta



**Figura 33.** Conteo de número de granos por planta

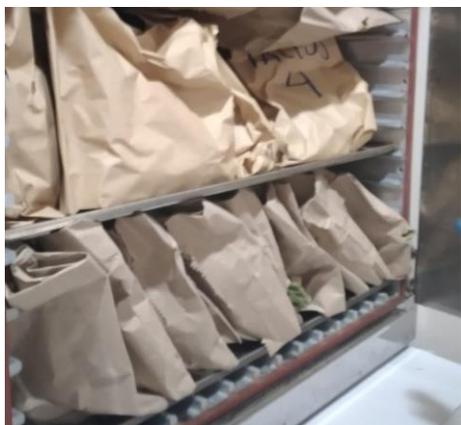
## ANEXO 1. 8. Evaluación del contenido de nitrógeno



**Figura 34.** Toma de muestras



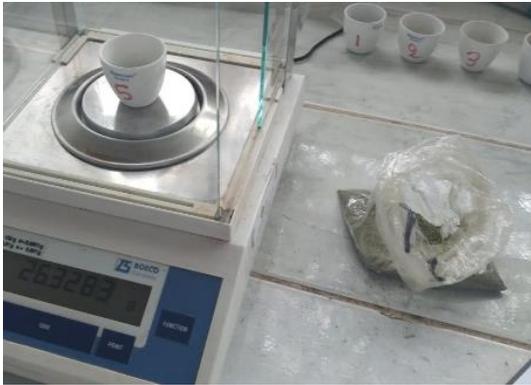
**Figura 35.** Pesado de muestras



**Figura 36.** Secado de las muestras en la estufa



**Figura 37.** Molido de las muestras



**Figura 38.** Pesado del material vegetal en crisoles



**Figura 40.** Titulación para determinar volumen



**Figura 39.** Proceso de digestión en el equipo de Kjeldahl.

#### ANEXO 1. 9. Evaluación del rendimiento agrícola



**Figura 41.** Pesado de los granos por parcela



**Figura 42.** Enfundado del fréjol para la venta

ANEXO 1. 10. Presencia de plagas y enfermedades en el cultivo



Figura 43. Presencia de plagas en el cultivo: a. *Diabrotica*, b y c. *Spodoptera* sp.



Figura 44. Productos empleados en el control de plagas en el cultivo: a. Ciperfos, y b. Bala 55



Figura 45. Presencia de enfermedades en el cultivo: a. *Alternaria*, b. *Sclerotinia sclerotiorum*, c. *Colletotrichum gloeosporioides*

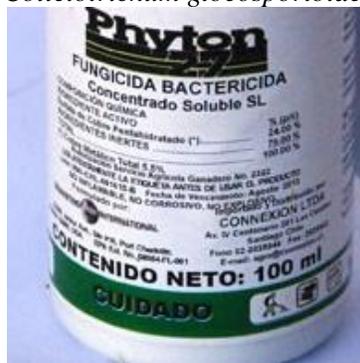


Figura 46. Productos empleados en el control de enfermedades.

## ANEXO 2. Análisis de suelo

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	<b>PGT/SFA/09-FO01</b>
		<b>Rev. 5</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Hoja 1 de 2</b>

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE LEN 09.003

Informe N°: LN-SFA-E21-1514  
 Fecha emisión Informe: 21/10/2021

### DATOS DEL CLIENTE

**Persona o Empresa solicitante<sup>1</sup>:** Gabriela Jiménez Jiménez y Gabriela Pineda Suquilanda  
**Dirección<sup>1</sup>:** México y Brasil  
**Provincia<sup>1</sup>:** Loja **Cantón<sup>1</sup>:** Loja  
**Teléfono<sup>1</sup>:** 0959759125  
**Correo Electrónico<sup>1</sup>:** gabymjj20@gmail.com  
**N° Orden de Trabajo:** 11-2021-303  
**N° Factura/Documento:** 012-001-1055

### DATOS DE LA MUESTRA:

<b>Tipo de muestra<sup>1</sup>:</b> Suelo	<b>Conservación de la muestra:</b> Lugar fresco y seco	
<b>Cultivo<sup>1</sup>:</b> Quinua		
<b>Provincia<sup>1</sup>:</b> Loja	<b>Coordenadas<sup>1</sup>:</b>	<b>X:</b> ---
<b>Cantón<sup>1</sup>:</b> Loja		<b>Y:</b> ---
<b>Parroquia<sup>1</sup>:</b> San Sebastián		<b>Altitud:</b> ---
<b>Muestreo por<sup>1</sup>:</b> ---		
<b>Fecha de muestreo<sup>1</sup>:</b> 01-10-2021	<b>Fecha de inicio de análisis:</b> 07-10-2021	
<b>Fecha de recepción de la muestra:</b> 07-10-2021	<b>Fecha de finalización de análisis:</b> 21-10-2021	

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA <sup>1</sup>	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-21-1585	Quinua 1	pH a 25 °C	Electrométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	---	5,96
		Materia Orgánica*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	1,77
		Nitrógeno*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,09
		Fósforo*	Colorimétrico PEE/SFA/11	mg/kg	16,3
		Potasio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,10
		Calcio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	3,81
		Magnesio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,28
		Hierro*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	205,1
		Manganeso*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	13,17
		Cobre*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	2,68
		Zinc*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	< 1,60
		CIC*	Cálculo PEE/SFA/14	cmol/kg	11,54

**Analizado por:** Katty Pastás, Pablo Atapuma

**Nota:** El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

<sup>1</sup> Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	<b>PGT/SFA/09-FO01</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Rev. 5</b>  <b>Hoja 2 de 2</b>

**Observaciones:**

- (\*\*) Bases de cambio.
- Informe revisado por: Pablo Atapuma
- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.
- Los ensayos marcados con (\*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
- Las interpretaciones que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA										
PARÁMETRO	MO (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
BAJO	<1,0	<0,15	<10,0	<0,20	<1,0	<0,33	<20,0	<5,0	<1,0	<3,0
MEDIO	1,0 - 2,0	0,15 - 0,30	10,0 - 20,0	0,20 - 0,38	1,0 - 3,0	0,33 - 0,66	20,0 - 40,0	5,0 - 15,0	1,0 - 4,0	3,0 - 7,0
ALTO	>2,0	>0,30	>20,0	>0,38	>3,0	>0,66	>40,0	>15,0	>4,0	>7,0

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA Y COSTA					
	ÁCIDO	LIGERAMENTE ÁCIDO	PRÁCTICAMENTE NEUTRO	LIGERAMENTE ALCALINO	ALCALINO
pH	≤ 5,5	> 5,5 - 6,5	> 6,5 - 7,5	> 7,5 - 8,0	> 8,0

FUENTE: INIAP. 2002



El código a continuación pertenece a:  
**PABLO XAVIER**  
**ATAPUMA ACUNA**

**Ing. Pablo Atapuma**  
**Responsable de Laboratorio (E)**  
**Suelos, Foliare y Aguas**

**Nota:** El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

<sup>1</sup> Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

### ANEXO 3. Plan de fertilización

- **Cálculo de los Kg/ha de N, P, K:**

Parámetro	Valor	Unidad
M.O	1,77	%
P	16,3	ppm
K	39,1	ppm
CaO	764	ppm
MgO	34	ppm

Profundidad: 0,2 m  
 Densidad aparente: 1,3 g/cm<sup>3</sup>: 1 300 kg/m<sup>3</sup>

**Peso del suelo:** Vol. suelo \* densidad aparente

:  $(0,2 * 10\ 000) * 1\ 300$

: 2 600 000 kg suelo

**Cantidad de materia orgánica en una hectárea**

MO: Volumen del suelo \* DA \* (% de MO / 100)

:  $(0,2 * 10\ 000) * 1\ 300 * (1,77 / 100)$

: 46 020 kg de Mo

**Nitrógeno**

**N. total (5 %)**

100 % ----- 46 020 kg Mo

5 %                    X: 2 301 kg N. total

**N. disponible (2 %)**

100 % ----- 2 301 kg N. total

2 %                    X: 46,02 N disponible

**P2O5**

: Peso del suelo \* P \* 2,29

:  $2,6 * 16,3\ \text{ppm} * 2,29$

: 97,05 kg/ha

**P2O5 disponible (15 %)**

100 % ----- 97,05 kg/ha

15 %                    X: 14,56 P2O5 disponible

**K2O**

: Peso del suelo \* K \* 2,29

:  $2,6 * 39,1\ \text{ppm} * 2,29$

: 121,99 kg/ha

**K2O disponible (20 %)**

100 % ----- 121,99 kg/ha

20 %                    X: 24,40 K2O5 disponible

**CaO**

: Peso del suelo \* K \* 2,29  
 : 2,6 \* 76,4 ppm \* 2,29  
 : 2778,97 kg/ha

**CaO disponible (2 %)**

100 % ----- 2778,97 kg/ha  
 2 % X: 55,57 kg/ha CaO disponible

**MgO**

: Peso del suelo \* K \* 2,29  
 : 2,6 \* 34 ppm \* 2,29  
 : 146,57 kg/ha

**MgO disponible (15 %)**

100 % ----- 146,57 kg/ha  
 2 % X: 2,93 kg/ha CaO disponible

**Tabla 9.** Extracción de nutrientes del cultivo de fréjol, disponibilidad y eficiencia de gravedad.

Nutrientes	Extracción de nutrientes del cultivo (Kg/Ha)	Disponible en el suelo (kg/ha)	Eficiencia gravedad (%)
N	98	46,02	0,5
P2O5	41	14,56	0,25
K2O	78	24,40	0,5
CaO	25	55,57	0,4
MgO	16	2,93	0,4

**DOSIS DE NUTRIENTES (DN) kg/ha/año**

$$DN = (REQ\ Cult - REQ\ Analisis) / EFIC$$

**Nitrógeno**

DN: (REQ Cult - REQ Análisis) /EFIC  
 :(98-46,01) \*0,5  
 : 103,96 kg/ha/año

**P2O5**

DN: (REQ Cult - REQ Análisis) /EFIC  
 :(41-14,56) \*0,25  
 : 105,80 kg/ha/año

**K2O**

DN: (REQ Cult - REQ Análisis) /EFIC  
 :(78-24,40) \*0,5  
 : 107,20 kg/ha/año

**CaO**

DN: (REQ Cult - REQ Análisis) /EFIC  
 :(25-55,57) \*0,4  
 : -76,45 kg/ha/año

**MgO**

DN: (REQ Cult - REQ Análisis) /EFIC  
 :(16-2,93) \*0,4  
 : 32,67 kg/ha/año

## Cálculos de cantidad de elementos requeridos por planta

### N (DAP y Urea)

100 % ----- 230 kg DAP P

18 %                    X: 41,4 kg DAP N/ha

103.96 – 41.4: 62.57 kg N/ha

46 kg N ----- 100 kg Urea

62,57 kg N        X: 136,02 kg Urea /ha

$$136,02 \text{ kg Urea/ha} * \frac{1\ 000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 136\ 020 \text{ g urea /ha} / 55\ 555 \text{ plantas/ha}$$

$$= 2,44 \text{ g urea/planta}$$

### P2O5 (DAP)

46 kg P ----- 100 kg DAP

105,80 kg P        X: 230 kg DAP P /ha

$$230 \text{ kg DAP /ha} * \frac{1\ 000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 230\ 000 \frac{\text{g DAP}}{\text{ha}} / 55\ 555 \text{ plantas/ha}$$

$$= 4,1 \text{ g DAP/planta}$$

### K2O (Muriato de K)

60 kg K ----- 100 kg Cloruro de K

107,20 kg K        X: 178,67 kg Cloruro de K /ha

$$178,67 \text{ kg Cloruro de } \frac{\text{K}}{\text{ha}} * \frac{1\ 000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 178\ 670 \frac{\text{g Cloruro de K}}{\text{ha}} / 55\ 555 \text{ plantas/ha}$$

$$= 3,22 \text{ g cloruro de k/planta}$$

### MgO (SO4Mg)

16 kg Mg ----- 100 kg SO4Mg

32,67 kg Mg        X: 204,20 kg SO4Mg /ha

$$N^{\circ} \text{ plantas} = \frac{\text{superficie}}{\text{margen de plantación}}$$

$$= \frac{10\ 000\text{m}^2}{0,4 \text{ m} * 0,45 \text{ m}}$$

$$= 55555 \text{ plantas/ha}$$

$$204,20 \frac{\text{kg SO4Mg}}{\text{ha}} * \frac{1\ 000\ \text{g}}{1\ \text{kg}} = 204\ 200 \frac{\text{g SO4Mg}}{\text{ha}} / 55\ 555\ \text{plantas/ha}$$

$$= 3,7\ \text{g SO4Mg/planta}$$

**Tabla 10.** Plan de fertilización con sus respectivas dosificaciones y fraccionamientos.

Descripción	Producto	Dosis de aplicación (g/planta)	1 aplicación (g/planta)	2 aplicación (g/planta)
Fertilización química	Urea	2,4	1,2	1,2
	DAP	4,1	2,1	2,1
	Cloruro de K	3,2	1,6	1,6
	SO4Mg	3,7	1,8	1,8
TOTAL		13,5	6,7	6,7

#### ANEXO 4. Dosis de cal agrícola en el encalado de corrección

**a) Cálculo de la dosis de cal (pH a alcanzar y el pH actual).**

pH que se desea alcanzar.....7  
 pH del suelo (actual).....5,96  
 diferencia de pH.....1,04

**b. Dosis de Cal Agrícola:**

1,04 \* 8 300: 8 632 kg/ha: 6,73 kg/7,8 m<sup>2</sup>

**ANEXO 5.** Promedios de la Prueba de Tukey al 5% para las variables evaluadas en la investigación

**Tabla 11.** Promedios de evaluación para las variables fenológicas, en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Tratamientos	Número de días			
	Emergencia	Floración	Madures fisiológica	Cosecha
T1 (Control absoluto)	11,75 c	51,50 c	88,50 c	112,00 d
T2 ( <i>Bacillus</i> )	10,75 bc	49,25 b	84,75 b	106,50 c
T3 ( <i>Rhizobium</i> )	8,75 a	48,75 b	84,00 ab	104,00 abc
T4 ( <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i> )	10,50 b	49,25 b	85,00 b	106,50 c
T5 ( <i>Rhizobium</i> + <i>Bacillus</i> )	8,75 a	48,50 ab	83,25ab	105,00 bc
T6 ( <i>Rhizobium</i> + <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i> )	8,25 a	46,75 a	82,00 a	101,00 a
T7 (Fertilización química)	11,50 bc	46,75 a	82,25 a	102,00 ab
$E\bar{x}^-$	0,27	0,42	0,52	0,79
Significancia	**	**	**	**

\* Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes mediante prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).  $E\bar{X} \pm$  Error Estándar de la media. Significancia: ns no significativo ( $p > 0,05$ ), \*significativo ( $p < 0,05$ ), \*\*altamente significativo ( $p < 0,01$ ).

**Tabla 12.** Promedios de evaluación para los parámetros de nodulación en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Tratamientos	Número de nódulos/planta	
	21 días	42 días
T1 (Control absoluto)	21,10 c	30,20 b
T2 ( <i>Bacillus</i> )	29,95 b	39,80 b
T3 ( <i>Rhizobium</i> )	39,55 a	56,20 a
T4 ( <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i> )	28,60 bc	40,25 b
T5 ( <i>Rhizobium</i> + <i>Bacillus</i> )	39,65 a	58,10 a
T6 ( <i>Rhizobium</i> + <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i> )	40,40 a	59,05 a
T7 (Fertilización química)	21,80 bc	29,30 b
$E\bar{x}^-$	2,02	2,84
Significancia	**	**

\*Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes mediante prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).  $E\bar{X} \pm$  Error Estándar de la media. Significancia: ns no significativo ( $p > 0,05$ ), \*significativo ( $p < 0,05$ ), \*\*altamente significativo ( $p < 0,01$ ).

**Tabla 13.** Promedios de evaluación de los parámetros de crecimiento en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Tratamientos	Porcentaje de germinación (%)	Altura de la planta (cm)			Diámetro del tallo (mm)			Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Longitud de vainas (cm)
		15 días	30 días	45 días	15 días	30 días	45 días		
T1 (Control absoluto)	62,10 b	5,62 c	8,84 c	15,75 c	2,60	4,19	5,42	1 915,23 d	10,35
T2 ( <i>Bacillus</i> )	69,63 a	6,01 bc	9,54 abc	17,20 bc	2,67	4,31	5,55	2 165,63 bcd	10,71
T3 ( <i>Rhizobium</i> )	73,73 a	6,35 ab	10,40 ab	17,50 b	2,69	4,32	5,53	2 480,94 abc	10,51
T4 ( <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i> )	69,48 a	5,89 bc	9,15 bc	16,74 bc	2,71	4,37	5,53	2 007,73 cd	10,69
T5 ( <i>Rhizobium</i> + <i>Bacillus</i> )	71,93 a	6,29 ab	10,15 abc	17,55 b	2,70	4,43	5,54	2 573,75 ab	10,48
T6 ( <i>Rhizobium</i> + <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i> )	73,73 a	6,71 a	10,64 a	19,45 a	2,82	4,48	5,61	2 811,42 a	10,53
T7 (Fertilización química)	62,30 b	5,65 c	10,75 a	19,66 a	2,65	4,39	5,74	1 898,67 d	10,91
$E\bar{x}=\bar{}$	1,39	0,13	0,29	0,35	0,08	0,19	0,11	117,68	0,25
Significancia	**	**	**	**	ns	ns	ns	**	ns

\*Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes mediante prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).  $E\bar{X} \pm$  Error Estándar de la media.  
Significancia: ns no significativo ( $p > 0,05$ ), \*significativo ( $p < 0,05$ ), \*\*altamente significativo ( $p < 0,01$ ).

**Tabla 14.** Promedios de evaluación de los componentes de rendimiento en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Tratamientos	Número de vainas por planta	Número de granos por vaina	Peso de 100 semillas
T1 (Control absoluto)	21,25	4,16	55,50 b
T2 ( <i>Bacillus</i> )	23,75	4,14	64,75 a
T3 ( <i>Rhizobium</i> )	22,73	4,33	64,25 a
T4 ( <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i> )	23,43	4,15	64,50 a
T5 ( <i>Rhizobium</i> + <i>Bacillus</i> )	23,15	4,25	68,25 a
T6 ( <i>Rhizobium</i> + <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i> )	27,50	4,35	70,25 a
T7 (Fertilización química)	23,25	4,41	68,50 a
$E\bar{x}=\$	2,19	0,10	1,30
Significancia	ns	ns	**

\*Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes mediante prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).  $E\bar{X} \pm$  Error Estándar de la media. Significancia: ns no significativo ( $p > 0,05$ ), \*significativo ( $p < 0,05$ ), \*\*altamente significativo ( $p < 0,01$ ).

**Tabla 15.** Promedios de evaluación del rendimiento agrícola en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Tratamientos	Rendimiento (kg ha-1)
T1 (Control absoluto)	607,11 c
T2 ( <i>Bacillus</i> )	873,11 bc
T3 ( <i>Rhizobium</i> )	797,06 c
T4 ( <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i> )	877,37 bc
T5 ( <i>Rhizobium</i> + <i>Bacillus</i> )	854,62 bc
T6 ( <i>Rhizobium</i> + <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i> )	1 237,47 a
T7 (Fertilización química)	1 185,54 ab
$E\bar{x}=\$	70,95
Significancia	**

\*Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes mediante prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).  $E\bar{X} \pm$  Error Estándar de la media. Significancia: ns no significativo ( $p > 0,05$ ), \*significativo ( $p < 0,05$ ), \*\*altamente significativo ( $p < 0,01$ ).

**ANEXO 6.** Costo de producción del fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.)

**Tabla 16.** Costo de producción del T2 (*Bacillus*).

Rubro	Cantidad/ Unidad	Valor unitario	Costos fijos	Costos variables	Sub Total
<b>Preparación del terreno</b>					
Arado y nivelado del suelo	1 hora	45,00	45,00		45,00
Cal agrícola	45 quintal	4,50		202,50	202,50
<b>Siembra</b>					
Fréjol mantequilla	45 libras	2,00		90,00	90,00
Mano de obra	8 jornal	15,00		120,00	120,00
<b>Deshierbe y aporque</b>					
Mano de obra	20 jornal	15,00		300,00	300,00
<b>Fertilizante microbiano</b>					
<i>Bacillus subtilis</i>	1 litro	16,00		16,00	16,00
<b>Control fitosanitario</b>					
Cipermetrina	250 mililitros	3,50		3,50	3,50
Bala	250 mililitros	5,00		5,00	5,00
Pyton	150 mililitros	5,00		5,00	5,00
Agropega	250 mililitros	1,50		1,50	1,50
Bomba	20 litros	53,33	53,33		53,33
Mano de obra	6 jornal	15,00		90,00	90,00
<b>Cosecha y venta</b>					
Transporte	3 transporte	5,00	15,00		15,00
Saquillos	1 paquete	10,00	10,00		10,00
Fundas plásticas	10 paquete	0,50	5,00		5,00
Balanza	1 balanza	22,00	22,00		22,00
Mano de obra	20 jornal	15,00		300,00	300,00
<b>Subtotal CF + CV</b>					1 283,83
<b>Imprevistos 5%</b>					64,19
<b>COSTO TOTAL</b>					1 348,03

**Tabla 17.** Costo de producción del T3 (*Rhizobium*).

Rubro	Cantidad/ Unidad	Valor unitario	Costos fijos	Costos variables	Sub Total
<b>Preparación del terreno</b>					
Arado y nivelado del suelo	1 hora	45,00	45,00		45,00
Cal agrícola	45 quintal	4,50		202,50	202,50
<b>Siembra</b>					
Fréjol mantequilla	45 libras	2,00		90,00	90,00
Mano de obra	8 jornal	15,00		120,00	120,00
<b>Deshierbe y aporque</b>					
Mano de obra	20 jornal	15,00		300,00	300,00
<b>Fertilizante microbiano</b>					
<i>Rhizobium</i> (Rizosur)	1 litro	17,00		17,00	17,00
<b>Control fitosanitario</b>					
Cipermetrina	250 mililitros	3,50		3,50	3,50
Bala	250 mililitros	5,00		5,00	5,00
Pyton	150 mililitros	5,00		5,00	5,00
Agropega	250 mililitros	1,50		1,50	1,50
Bomba	20 litros	53,33	53,33		53,33
Mano de obra	6 jornal	15,00		90,00	90,00
<b>Cosecha y venta</b>					
Transporte	3 transporte	5,00	15,00		15,00
Saquillos	1 paquete	10,00	10,00		10,00
Fundas plásticas	10 paquete	0,50	5,00		5,00
Balanza	1 balanza	22,00	22,00		22,00
Mano de obra	20 jornal	15,00		300,00	300,00
<b>Subtotal CF + CV</b>					1 284,83
<b>Imprevistos 5%</b>					64,24
<b>COSTO TOTAL</b>					1 349,08

**Tabla 18.** Costo de producción del T4 (*Pseudomonas* + *Bacillus*).

Rubro	Cantidad/ Unidad	Valor unitario	Costos fijos	Costos variables	Sub Total
<b>Preparación del terreno</b>					
Arado y nivelado del suelo	1 hora	45,00	45,00		45,00
Cal agrícola	45 quintal	4,50		202,50	202,50
<b>Siembra</b>					
Fréjol mantequilla	45 libras	2,00		90,00	90,00
Mano de obra	8 jornal	15,00		120,00	120,00
<b>Deshierbe y aporque</b>					
Mano de obra	20 jornal	15,00		300,00	300,00
<b>Fertilizante microbiano</b>					
<i>Bacillus subtilis</i>	1 litro	16,00		16,00	16,00
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1 litro	16,00		16,00	16,00
<b>Control fitosanitario</b>					
Cipermetrina	250 mililitros	3,50		3,50	3,50
Bala	250 mililitros	5,00		5,00	5,00
Pyton	150 mililitros	5,00		5,00	5,00
Agropega	250 mililitros	1,50		1,50	1,50
Bomba	20 litros	53,33	53,33		53,33
Mano de obra	6 jornal	15,00		90,00	90,00
<b>Cosecha y venta</b>					
Transporte	3 transporte	5,00	15,00		15,00
Saquillos	1 paquete	10,00	10,00		10,00
Fundas plásticas	10 paquete	0,50	5,00		5,00
Balanza	1 balanza	22,00	22,00		22,00
Mano de obra	20 jornal	15,00		300,00	300,00
<b>Subtotal CF + CV</b>					1 299,83
<b>Imprevistos 5%</b>					64,99
<b>COSTO TOTAL</b>					1 364,83

**Tabla 19.** Costo de producción del T5 (*Rhizobium* + *Bacillus*).

Rubro	Cantidad/ Unidad	Valor unitario	Costos fijos	Costos variables	Sub Total
<b>Preparación del terreno</b>					
Arado y nivelado del suelo	1 hora	45,00	45,00		45,00
Cal agrícola	45 quintal	4,50		202,50	202,50
<b>Siembra</b>					
Fréjol mantequilla	45 libras	2,00		90,00	90,00
Mano de obra	8 jornal	15,00		120,00	120,00
<b>Deshierbe y aporque</b>					
Mano de obra	20 jornal	15,00		300,00	300,00
<b>Fertilizante microbiano</b>					
<i>Bacillus subtilis</i>	1 litro	16,00		16,00	16,00
<i>Rhizobium</i> (Rizosur)	1 litro	17,00		17,00	17,00
<b>Control fitosanitario</b>					
Cipermetrina	250 mililitros	3,50		3,50	3,50
Bala	250 mililitros	5,00		5,00	5,00
Pyton	150 mililitros	5,00		5,00	5,00
Agropega	250 mililitros	1,50		1,50	1,50
Bomba	20 litros	53,33	53,33		53,33
Mano de obra	4 jornal	15,00		60,00	60,00
<b>Cosecha y venta</b>					
Transporte	3 transporte	5,00	15,00		15,00
Saquillos	1 paquete	10,00	10,00		10,00
Fundas plásticas	10 paquete	0,50	5,00		5,00
Balanza	1 balanza	22,00	22,00		22,00
Mano de obra	20 jornal	15,00		300,00	300,00
<b>Subtotal CF + CV</b>					1 300,83
<b>Imprevistos 5%</b>					65,04
<b>COSTO TOTAL</b>					1 365,88

**Tabla 20.** Costo de producción del T6 (*Rhizobium* + *Pseudomonas* + *Bacillus*).

Rubro	Cantidad/ Unidad	Valor unitario	Costos fijos	Costos variables	Sub Total
<b>Preparación del terreno</b>					
Arado y nivelado del suelo	1 hora	45,00	45,00		45,00
Cal agrícola	45 quintal	4,50		202,50	202,50
<b>Siembra</b>					
Fréjol mantequilla	45 libras	2,00		90,00	90,00
Mano de obra	8 jornal	15,00		120,00	120,00
<b>Deshierbe y aporque</b>					
Mano de obra	20 jornal	15,00		300,00	300,00
<b>Fertilizante microbiano</b>					
<i>Bacillus subtilis</i>	1 litro	16,00		16,00	16,00
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1 litro	16,00		16,00	16,00
<i>Rhizobium</i> (Rizosur)	1 litro	17,00		17,00	17,00
<b>Control fitosanitario</b>					
Cipermetrina	250 mililitros	3,50		3,50	3,50
Bala	250 mililitros	5,00		5,00	5,00
Pyton	150 mililitros	5,00		5,00	5,00
Agropega	250 mililitros	1,50		1,50	1,50
Bomba	20 litros	53,33	53,33		53,33
Mano de obra	4 jornal	15,00		60,00	60,00
<b>Cosecha y venta</b>					
Transporte	3 transporte	5,00	15,00		15,00
Saquillos	1 paquete	10,00	10,00		10,00
Fundas plásticas	10 paquete	0,50	5,00		5,00
Balanza	1 balanza	22,00	22,00		22,00
Mano de obra	20 jornal	15,00		300,00	300,00
<b>Subtotal CF + CV</b>					1 316,83
<b>Imprevistos 5%</b>					65,84
<b>COSTO TOTAL</b>					1 382,68

**Tabla 21.** Costo de producción del T7 (Fertilización química).

Rubro	Cantidad/ Unidad	Valor unitario	Costos fijos	Costos variables	Sub Total
<b>Preparación del terreno</b>					
Análisis completo del suelo	1 análisis	22,27	22,27		22,27
Arado y nivelado del suelo	1 hora	45,00	45,00		45,00
Cal agrícola	45 quintal	4,50		202,50	202,50
<b>Siembra</b>					
Fréjol mantequilla	45 libras	2,00		90,00	90,00
Mano de obra	8 jornal	15,00		120,00	120,00
<b>Deshierbe y aporque</b>					
Mano de obra	20 jornal	15,00		300,00	300,00
<b>Fertilizantes químicos</b>					
UREA	2,7 quintal	60,00		163,20	163,20
Muriato de potasio	3,6 quintal	72,00		257,33	257,33
Sulfato de magnesio	4,1 quintal	25,00		102,10	102,10
DAP	4,6 quintal	70,00		321,86	321,86
<b>Control fitosanitario</b>					
Cipermetrina	250 mililitros	3,50		3,50	3,50
Bala	250 mililitros	5,00		5,00	5,00
Pyton	150 mililitros	5,00		5,00	5,00
Agropega	250 mililitros	1,50		1,50	1,50
Bomba	20 litros	53,33	53,33		53,33
Mano de obra	4 jornal	15,00		60,00	60,00
<b>Cosecha y venta</b>					
Transporte	3 transporte	5,00	15,00		15,00
Saquillos	1 paquete	10,00	10,00		10,00
Fundas plásticas	10 paquete	0,50	5,00		5,00
Balanza	1 balanza	22,00	22,00		22,00
Mano de obra	20 jornal	15,00		300,00	300,00
<b>Subtotal CF + CV</b>					2 209,59
<b>Imprevistos 5%</b>					110,48
<b>COSTO TOTAL</b>					2 320,07

## ANEXO 7. Correlaciones entre las variables de estudio

**Tabla 22.** Correlaciones entre las variables de estudio con un coeficiente de correlación de Pearson > 0,70 y con un p-valor < 0,05

	NDE (días)	NDF (días)	NDMF (días)	NDC (días)	NN (21 días)	NN (42 días)	% G (%)	AP (cm-15 días)	AP (cm-30 días)	AP (cm-45 días)	DT (mm-15 días)	DT (mm-30 días)	DT (mm-45 días)	AF (cm <sup>2</sup> )	LV (cm)	N V/P	N G/V	PSS/100 (g)	% FBN-bf (%)	% FBN-bs (%)	Rdto (kg ha-1)	Rent (%)
NDE (días)	1	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.23	0.06	0.66	0.86	0.00	0.37	0.19	0.20	0.01	0.15	0.39	0.20	0.09
NDF (días)	0.41	1	0.00	0.00	0.12	0.23	0.11	0.01	0.00	0.00	0.35	0.97	0.03	0.13	0.51	0.15	0.00	0.00	0.86	0.56	0.00	0.26
NDMF (días)	0.43	0.84	1	0.00	0.05	0.04	0.09	0.02	0.00	0.00	0.71	0.74	0.27	0.14	0.39	0.37	0.20	0.00	0.75	0.73	0.00	0.18
NDC (días)	0.48	0.77	0.83	1	0.04	0.05	0.21	0.02	0.00	0.00	0.64	0.44	0.43	0.19	0.51	0.93	0.30	0.00	0.48	0.12	0.01	0.05
NN (21 días)	-0.81	-0.30	-0.37	-0.38	1	0.00	0.00	0.00	0.05	0.44	0.06	0.40	0.24	0.00	0.57	0.19	0.70	0.13	0.10	0.65	0.26	0.2
NN (42 días)	-0.84	-0.24	-0.39	-0.37	0.83	1	0.00	0.00	0.02	0.34	0.01	0.93	0.58	0.00	0.7	0.23	0.20	0.05	0.12	0.3	0.36	0.01
% G (%)	-0.79	-0.31	-0.33	-0.25	0.73	0.81	1	0.00	0.03	0.65	0.01	0.63	0.55	0.00	0.75	0.02	0.10	0.05	0.37	0.47	0.28	0.03
AP (cm-15 días)	-0.88	-0.46	-0.42	-0.44	0.74	0.71	0.69	1	0.00	0.16	0.23	0.69	0.89	0.00	0.17	0.14	0.40	0.02	0.09	0.41	0.21	0.06
AP (cm-30 días)	-0.50	-0.69	-0.63	-0.59	0.38	0.45	0.41	0.53	1	0.00	0.02	0.74	0.14	0.01	0.70	0.07	0.00	0.00	0.46	0.25	0.00	0.11
AP (cm-45 días)	-0.23	-0.84	-0.85	-0.81	0.15	0.19	0.09	0.27	0.57	1	0.75	0.67	0.13	0.41	0.09	0.53	0.10	0.00	0.65	0.57	0.00	0.23
DT (mm-15 días)	-0.36	-0.18	-0.07	-0.09	0.37	0.51	0.47	0.24	0.42	0.06	1	0.94	0.01	0.04	0.35	0.02	0.00	0.51	0.13	0.11	0.02	0.06
DT (mm-30 días)	-0.09	-0.01	-0.07	-0.15	-0.17	0.02	-0.09	0.08	0.07	-0.08	-0.01	1	0.23	0.47	0.62	0.93	0.20	0.17	0.19	0.12	0.52	0.00
DT (mm-45 días)	-0.03	-0.4	-0.22	-0.15	0.23	0.11	0.12	0.03	0.28	0.29	0.48	-0.23	1	0.28	0.66	0.10	0.20	0.41	0.97	0.95	0.00	0.57
AF (cm <sup>2</sup> )	-0.59	-0.29	-0.28	-0.26	0.68	0.64	0.61	0.56	0.49	0.16	0.39	-0.14	0.21	1	0.88	0.70	0.50	0.10	0.35	0.64	0.15	0.04
LV (cm)	0.18	-0.13	-0.17	-0.13	-0.11	-0.08	-0.06	-0.26	0.08	0.32	0.18	0.10	0.09	0.03	1	0.76	0.20	0.26	0.34	0.50	0.40	0.91
N V/P	-0.25	-0.28	-0.18	0.02	0.26	0.24	0.43	0.29	0.34	0.12	0.43	-0.02	0.31	0.08	0.06	1	0.1	0.18	0.69	0.47	0.01	0.17
N G/V	-0.23	-0.42	-0.26	-0.21	0.09	0.25	0.32	0.16	0.47	0.32	0.44	0.24	0.27	0.14	0.23	0.3	1	0.06	0.36	0.08	0.14	0.72
PSS/100 (g)	-0.50	-0.71	-0.76	-0.64	0.3	0.37	0.38	0.45	0.58	0.64	0.13	0.27	0.16	0.32	0.22	0.26	0.40	1	0.46	0.97	0.00	0.33
% FBN-bf (%)	-0.61	-0.09	0.15	-0.32	0.66	0.65	0.40	0.68	0.34	-0.21	0.63	0.56	-0.01	0.42	-0.43	-0.18	0.40	-0.34	1	0.06	0.35	0.33
% FBN-bs (%)	-0.39	-0.27	-0.16	-0.64	0.21	0.46	0.33	0.37	0.50	0.26	0.65	0.64	-0.03	0.22	-0.31	-0.33	0.70	-0.02	0.74	1	0.84	0.38
Rdto (kg ha-1)	-0.25	-0.72	-0.63	-0.48	0.22	0.18	0.21	0.24	0.56	0.66	0.45	-0.13	0.66	0.28	0.17	0.48	0.30	0.64	-0.42	0.1	1	0.4
Rent (%)	-0.69	-0.50	-0.57	-0.75	0.55	0.90	0.80	0.74	0.65	0.52	0.73	0.92	-0.26	0.78	0.05	-0.59	0.20	0.43	0.43	0.39	0.38	1

**Nota:** NDE: número de días a emergencia, NDF: número de días a floración, NDMF: número de días a madurez fisiológica, NDC: número de días a cosecha, NN: número de nódulos, % G: porcentaje de germinación, AP: altura de planta, DT: diámetro del tallo, AF: área foliar, LV: longitud de vainas, NV/P: número de vainas/planta, NG/V: número de granos/vainas, PSS/100: peso de 100 semillas, % FBN-bf: % Fijación biológica de nitrógeno base fresca, % FBN-bs: % Fijación biológica de nitrógeno base seca, Rdto: rendimiento, Rent: rentabilidad.

## CERTIFICACIÓN

Loja, (13) de noviembre de 2022

Licenciada

**Yulisa Liset Manzanares Ordóñez**

**Docente del Ministerio de Educación**

En mi calidad de Licenciada en Pedagogía de Idioma Inglés con capacidades que pueden ser probadas a través de la certificación de conocimiento del inglés, nivel B2, he realizado la traducción del resumen del trabajo de titulación denominado: **“Efecto de la aplicación de microorganismos benéficos sobre parámetros productivos y económicos del cultivo de fréjol común (*Phaseolus vulgaris L.*) en el sector La Argelia, Loja”** perteneciente a la estudiante **Cristina Marisol Correa Ullauri** con C.I. **1150012498**.

Es en cuento puedo certificar en honor a la verdad, facultando a la interesada, estudiante: **Cristina Marisol Correa Ullauri**, hacer uso legal del presente según estime conveniente.

Atentamente,



---

**Yulisa Manzanares Ordóñez**

**Docente del Ministerio de Educación**

**Nro registro Senecyt 1031-2022-2421776**