



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**EFFECTO AGRONÓMICO DE LA INOCULACIÓN CON
Rhizobium EN EL CULTIVO DE FRÉJOL CAUPÍ MORADO
(*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *unguiculata*) EN
CONDICIONES DE CAMPO**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Jordy Ernesto Cevallos Macías.

LA LIBERTAD, AGOSTO 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**EFFECTO AGRONÓMICO DE LA INOCULACIÓN CON
Rhizobium EN EL CULTIVO DE FRÉJOL CAUPÍ MORADO
(*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *unguiculata*) EN
CONDICIONES DE CAMPO**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Jordy Ernesto Cevallos Macías.

Tutor: Ing. Marlon Alexis Mena Montoya, Mgtr.

LA LIBERTAD, AGOSTO 2026

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por Jordy Ernesto Cevallos Macías como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

 Trabajo de Integración Curricular APROBADO el: 12/08/2026
Firmado electrónicamente por:
**VERONICA CRISTINA
ANDRADE YUCAILLA**

 Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**DANIEL ANTONIO
PONCE DE LEON LIMA**

Ing. Verónica Andrade Yucailla PhD.
**DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. Daniel Ponce de León Lima PhD.
**PROFESOR ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

 **Marlon Alexis Mena
Montoya**


Ing. Marlon Mena Montoya Mgtr.
**PROFESOR TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

 Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

Ing. Nadia Quevedo Pinos PhD.
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

 Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON VIDAL
PERERO VERA**

Ing. Washington Perero Vera, MSc.
**ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO**

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a varios de mis docentes universitarios por haber demostrado esfuerzo verdadero en enseñar, a la Ing. Lenin Ramírez PhD., por sembrar en mi mayor interés por la carrera desde los primeros semestres, a mi tutor Ing. Marlon Mena Mgtr., por sacrificar su valioso tiempo para guiarnos en este ciclo de titulación y a mi cotutor Blgo. Javier Soto, por haberme enseñado más sobre temas y prácticas que no pude conocer en su momento. Le agradezco a mis compañeros de aula por el apoyo dentro y fuera del campus universitario, al Ing. José Soriano por ser un ejemplo como estudiante, al Ing. Elmer Méndez por brindarme apoyo y demás que estuvieron allí.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis familiares por ayudarme a progresar en el ámbito profesional y social, a mis padres por ayudarme con los recursos que tenían disponible cuando pudieron, a mis hermanos por alegrarme el momento en días pesados, a mi tía Lilian por siempre escucharme, a mi tío Javier por aconsejarme y darme trabajo, a mi prima Elba por no dejarme pasar hambre en mis días en Manglaralto. A mis amigos que están presentes en mi vida, a Karen Ruiz por guiarme por el camino eclesiástico, a Geyson Tomalá por acompañarme siempre en momentos difíciles, al Lic. Francis Borbor por estar presente desde la infancia, a Neila, Luis, Sabrina, Steffany, Daniela, Sofia, Anthony y Alexis por ser los primeros en ayudarme a socializar en los inicios de la carrera y brindarme su estima, a mi buen amigo y guía en la universidad Ing. Edward González por tener la paciencia de enseñarme conocimientos que no pude entender tan rápido, y a los que no están tan presentes, pero aun así les guardo gran estima, a la familia Rosado Láinez y Caiche Panchana por siempre recibirme con los brazos abiertos ante cualquier dificultad, gracias a todos y a los que no pude mencionar.

RESUMEN

En la provincia de Santa Elena, el cultivo de fréjol caupí morado es escaso o inexistente, a pesar de su adaptabilidad a las condiciones edafoclimáticas locales. El uso de bioestimulantes basados en bacterias del género *Rhizobium* también es limitado. Por ello, se llevó a cabo un proyecto de investigación para evaluar el efecto de diferentes cepas: *Rhizobium tropici* CIAT 899, *Rhizobium* sp. y *Rhizobium* sp. ZX09, comparándolos con parcelas del mismo cultivo con y sin fertilizante, pero sin inoculación. Se midieron variables morfológicas, de producción y de nodulación, y se realizó una estimación proyectada a una hectárea. Los resultados mostraron que *Rhizobium* sp. ZX09 tuvo mayor porcentaje de germinación y mayor emisión floral, la bacteria *Rhizobium* sp. mantuvo un mayor promedio numérico en la altura inicial y la bacteria *Rhizobium tropici* CIAT 899 tuvo el mayor promedio numérico de hojas inicial. Se evaluaron los efectos de diferentes cepas de *Rhizobium* sobre el crecimiento, nodulación y rendimiento del cultivo de fréjol caupí morado (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *unguiculata*) en la parroquia Manglaralto, provincia de Santa Elena, donde se demostró que la bacteria *Rhizobium tropici* CIAT 899 demostró mayor capacidad formadora de nódulos y que la aplicación de fertilizantes fue mayormente viable; sin embargo, la inoculación con *Rhizobium* sp. ZX09 fue la segunda mejor opción. Se recomienda para futuras investigaciones relacionadas con *Rhizobium* hacer mayor enfoque a los nódulos, especialmente para la cepa *Rhizobium* sp. ZX09, tener en cuenta los resultados de análisis de suelo actualizados y cuidar la calidad del fréjol en la cosecha.

Palabras clave: Bioinoculante. Biotecnología. Leguminosas. Simbiosis.

ABSTRACT

In the province of Santa Elena, the cultivation of purple cowpea is scarce or nonexistent, despite its adaptability to local edaphoclimatic conditions. The use of biostimulants based on bacteria of the genus *Rhizobium* is also limited. Therefore, a research project was carried out to evaluate the effect of different strains: *Rhizobium tropici* CIAT 899, *Rhizobium* sp., and *Rhizobium* sp. ZX09, comparing them with plots of the same crop with and without fertilizer, but without inoculation. Morphological, production, and nodulation variables were measured, and an approximate economic estimation projected to one hectare was performed to determine the benefit-cost ratio. The results showed that *Rhizobium* sp. ZX09 had a higher percentage of germination and greater flower emergence, the bacterium *Rhizobium* sp. maintained a higher numerical average in initial height, and the bacterium *Rhizobium tropici* CIAT 899 had the highest numerical average of initial leaves. The effects of different strains of *Rhizobium* on the growth, nodulation, and yield of the purple cowpea crop (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *unguiculata*) were evaluated in the parish of Manglaralto, province of Santa Elena, where it was demonstrated that the bacterium *Rhizobium tropici* CIAT 899 showed greater nodulation capacity and that fertilizer application was mostly viable; however, inoculation with *Rhizobium* sp. ZX09 was the second-best option. For future research related to *Rhizobium*, it is recommended to place greater focus on nodules, especially for the strain *Rhizobium* sp. ZX09, to take into account updated soil analysis results, and to maintain the quality of cowpea at harvest.

Keywords: Bioinoculant. Biotechnology. Legumes. Symbiosis.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado “**EFFECTO AGRONÓMICO DE LA INOCULACIÓN CON *Rhizobium* EN EL CULTIVO DE FRÉJOL CAUPÍ MORADO (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *unguiculata*) EN CONDICIONES DE CAMPO**” y elaborado por **Jordy Ernesto Cevallos Macías**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".



Validar únicamente en FirmasC.
Firmado electrónicamente por:
**JORDY ERNESTO
CEVALLOS MACIAS**

Firma del estudiante

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Problema de investigación.....	2
Objetivos.....	3
Objetivo General:	3
Objetivos Específicos:	3
Hipótesis	3
Capítulo 1. Revisión Bibliográfica	4
1.1 Origen del fréjol caupí morado (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. subsp. <i>unguiculata</i>).....	4
1.2 Taxonomía del fréjol caupí morado.....	4
1.3 Descripción botánica	4
1.3.1 Raíz.....	4
1.3.2 Tallo.....	5
1.3.3 Hábito de crecimiento.....	5
1.3.4 Hojas.....	5
1.3.5 Flores	5
1.3.6 Frutos	5
1.4 Fenología	5
1.5 Requerimientos edafoclimáticos.....	6
1.6 Siembra.....	6
1.7 Plagas y enfermedades.....	6
1.8 Uso de microorganismos con efecto bioestimulante para el desarrollo del cultivo	7
1.8.1 <i>Rhizobium</i> sp. ZX09	7
1.8.2 <i>Rhizobium tropici</i> CIAT 899	8
1.8.3 <i>Rhizobium</i> sp.	8
1.9 Investigaciones relacionadas	8
Capítulo 2. Materiales y métodos	9
2.1 Caracterización del área de estudio	9
2.2 Materiales, equipos y reactivos	9
2.2.1 Material biológico	9
2.2.2 Material de campo para colecta de muestras	9
2.2.3 Material de laboratorio	9
2.2.4 Material de siembra	9

2.2.5 Equipos de laboratorio.....	9
2.2.6 Reactivos para medios de cultivo	9
2.2.7 Insumos agrícolas	9
2.2.8 Materiales para control fitosanitario.....	9
2.2.9 Herramientas.....	9
2.3 Tipo de investigación	9
2.4 Diseño de investigación.....	10
2.4.1 Diseño experimental.....	10
2.5 Manejo del experimento	11
2.5.1 Preparación del suelo.....	11
2.5.2 Siembra.....	11
2.5.3 Preparación de <i>Rhizobium</i>	11
2.5.4 Plan de fertilización y enmiendas	12
2.5.5 Manejo fitosanitario.....	13
2.5.6 Frecuencia de riego.....	13
2.5.7 Preparación de tratamientos.....	13
2.5.8 Determinación de la concentración de las cepas	14
2.6 Parámetros evaluados	15
2.6.1 Morfológicos	15
2.7 Análisis estadístico de los resultados	16
Capítulo 3. Resultados y discusión.....	17
3.1 Efectos en los parámetros morfológicos.....	17
3.1.1 Porcentaje de germinación (%).....	17
3.1.2 Altura de planta (cm).....	17
3.1.3 Número de hojas.....	18
3.1.4 Número de flores	19
3.1.5 Número de vainas	20
3.1.6 Número de nódulos.....	21
3.1.7 Peso de semillas.....	22
3.2 Rendimiento de semilla verde estimado (kg/ha)	23
Conclusiones y recomendaciones	25
Conclusiones.....	25
Recomendaciones	26

Referencias bibliográficas	27
Anexos.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la planta de fréjol caupí morado	4
Tabla 2. Taxonomía de <i>Rhizobium</i> sp. ZX09	7
Tabla 3. Diseño experimental del experimento	11
Tabla 4. Porcentaje de germinación (%)	17
Tabla 5. Altura de la planta en el efecto agronómico de la inoculación con <i>Rhizobium</i> en el cultivo de fréjol caupí morado (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. subsp. unguiculata) en condiciones de campo.....	18
Tabla 6. Número de hojas bajo el efecto agronómico de la inoculación con <i>Rhizobium</i> en el cultivo de fréjol caupí morado (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. subsp. unguiculata) en condiciones de campo.....	19
Tabla 7. Número de flores bajo el efecto agronómico de la inoculación con <i>Rhizobium</i> en el cultivo de fréjol caupí morado (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. subsp. unguiculata) en condiciones de campo.....	20
Tabla 8. Número de vainas bajo el efecto agronómico de la inoculación con <i>Rhizobium</i> en el cultivo de fréjol caupí morado (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. subsp. unguiculata) en condiciones de campo.....	20
Tabla 9. Número de nódulos bajo el efecto agronómico de la inoculación con <i>Rhizobium</i> en el cultivo de fréjol caupí morado (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. subsp. unguiculata) en condiciones de campo.....	22
Tabla 10. Peso de 100 semillas bajo el efecto agronómico de la inoculación con <i>Rhizobium</i> en el cultivo de fréjol caupí morado (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. subsp. unguiculata) en condiciones de campo.....	22
Tabla 11. Análisis de rentabilidad financiera del cultivo de fréjol caupí morado en verde por ciclo	23

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Distribución de los bloques	10
--	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Figura 1A. Plagas encontradas

Figura 2A. Daño en la planta por plagas

Figura 3A. Flor de fréjol caupí morado, hojas, vainas y grupos de 100 semillas

Figura 4A. Inoculación de semillas, reactivación de cepas y preparación de caldo de bacterias

Figura 5A. Siembra en semilleros en invernadero

Figura 6A. Absorbancia de las bacterias *Rhizobium* sp., *Rhizobium* sp. ZX09 y *Rhizobium tropici* CIAT 899

Figura 7A. Toma de datos de nódulos

Figura 8A. Adecuación del terreno y toma de datos

Figura 9A. Área de siembra

Figura 10A. Mapa de localización del Centro de Apoyo Manglaralto – UPSE

Figura 11A. Análisis de suelo

Tabla 12A. Análisis de la varianza altura a los 15 días

Tabla 13A. Análisis de la varianza altura a los 37 días

Tabla 14A. Análisis de la varianza altura a los 62 días

Tabla 15A. Análisis de la varianza hojas a los 15 días

Tabla 16A. Análisis de la varianza hojas a los 37 días

Tabla 17A. Análisis de la varianza hojas a los 62 días

Tabla 18A. Análisis de la varianza vainas a los 68 días

Tabla 19A. Análisis de la varianza vainas a los 75 días

Tabla 20A. Análisis de la varianza nódulos a los 118 días

Tabla 21A. Análisis de la varianza flores

Tabla 22A. Análisis de la varianza peso de semillas grupo 1

Tabla 23A. Análisis de la varianza peso de semillas grupo 2

Tabla 24A. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificado) en altura de planta.

Tabla 25A. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificado) en número de hojas.

Tabla 26A. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificado) en número de flores.

Tabla 27A. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificado) en número de vainas.

Tabla 28A. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificado) en número de nódulos.

Tabla 29A. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificado) en peso de semillas.

INTRODUCCIÓN

El fréjol ocupa el octavo lugar entre las leguminosas sembradas en el mundo, de la cual su grano es de interés para consumo, esto debido a su buen sabor, valor nutricional, entre otras. Por estas y otras razones, la demanda del fréjol es alta mayormente por la sociedad de escasos recursos (Torres *et al.*, 2024).

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGP, 2024), la producción nacional de fréjol fue de doce mil toneladas, producción que fue destinada al consumo y exportación. El cultivo de fréjol requiere de niveles de nitrógeno alto para su producción, debido a esto y a la falta de conocimiento, las fertilizaciones terminan dañando el suelo a largos lapsos de tiempo (Lapa *et al.*, 2024).

En el suelo existen bacterias asociadas con la rizosfera de las plantas, las cuales benefician el desarrollo radicular y el follaje. Este grupo de bacterias son las rizobacterias promotoras del crecimiento en plantas (PGPR), entre estas rizobacterias se destaca las del género *Rhizobium* (Velasco *et al.*, 2020).

En este proceso simbiótico, y cabe destacar que el éxito de esta relación dependerá de varios factores, entre estos: las condiciones de suelo, el clima, las prácticas agronómicas, entre otras; al cuidar de estos aspectos se puede lograr una mejor fijación de nitrógeno, contribuyendo así a una producción sostenible (Cantaro *et al.*, 2019).

En esta investigación se buscó mejorar la producción del fréjol caupí morado en las tierras de la provincia de Santa Elena parroquia Manglaralto, al aplicar bacterias del género *Rhizobium*, donde se estimó que el desarrollo y producción en el cultivo inoculado fue mayor al otro cultivo de la misma especie que no contó con inoculación de bacterias (Velasco *et al.*, 2020).

Problema de investigación

En la provincia de Santa Elena, en zonas rurales se utilizan métodos y alternativas empíricas para la siembra, entre estas técnicas está el uso excesivo de fertilizantes, para disminuir este uso excesivo, siendo uno de los causantes de la erosión en el suelo, se propone el uso de bacterias del género *Rhizobium* para demostrar que se puede mejorar el desarrollo y producción sin la necesidad de fertilizantes y motivar a la disminución de uso excesivo de fertilizantes.

¿El uso de bacterias del género *Rhizobium* podría mejorar el crecimiento y rendimiento del cultivo?

Objetivos

Objetivo General:

Evaluar el efecto de diferentes cepas autóctonas de *Rhizobium* sobre el crecimiento, nodulación y rendimiento del cultivo de fréjol caupí morado (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. unguiculata) en condiciones de campo en la parroquia Manglaralto, provincia de Santa Elena.

Objetivos Específicos:

Determinar el efecto de la inoculación con *Rhizobium* sobre las características morfológicas del fréjol caupí morado.

Evaluar la nodulación y desarrollo foliar del cultivo bajo distintas cepas autóctonas de bioinoculante.

Analizar el rendimiento del cultivo con y sin inoculación de cepas autóctonas de *Rhizobium*.

Hipótesis

La aplicación de distintas cepas de *Rhizobium* mejora significativamente el crecimiento, la nodulación y el rendimiento del cultivo de fréjol caupí morado en condiciones de campo.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Origen del fréjol caupí morado (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *unguiculata*)

El fréjol caupí morado (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) es una leguminosa cultivada ampliamente en regiones tropicales y subtropicales cuyo origen se encuentra en África donde se concentra una importante diversidad genética de la especie y presenta un rango nativo que comprende regiones tropicales y meridionales de África siendo domesticada en África occidental y posteriormente difundida hacia otras regiones del mundo (Kirarei *et al.*, 2025).

1.2 Taxonomía del fréjol caupí morado

Kirarei *et al.* (2025), Aziagba *et al.* (2026), Abebe y Alemayehu (2022) y Emmanuel y Okeke (2026), mencionan la clasificación taxonómica de la planta de fréjol caupí morado, la cual se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1. Taxonomía de la planta de fréjol caupí morado

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Subfamilia	Faboideae
Tribu	Phaseoleae
Subtribu	Phaseolinae
Género	<i>Vigna</i>
Nombre científico	<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. subsp. <i>unguiculata</i>

1.3 Descripción botánica

El fréjol caupí morado (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) es una leguminosa anual de la familia Fabaceae, con hábito de crecimiento erecto, rastrero o trepador, raíz principal profunda y hojas alternas trifoliadas; sus flores son papilionadas y sus frutos corresponden a vainas alargadas con semillas variables en forma y color (Kim *et al.*, 2025).

1.3.1 Raíz

La raíz del caupí se desarrolla con fuerza hacia abajo mediante una raíz principal profunda acompañada de numerosas raíces laterales que exploran el entorno inmediato, formando nódulos que albergan bacterias fijadoras de nitrógeno y convirtiendo a la planta

en un cultivo capaz de mejorar la fertilidad del suelo y sostener sistemas agrícolas sostenibles (Aziagba *et al.*, 2026).

1.3.2 Tallo

El tallo del caupí es flexible y variable, pudiendo ser delgado o robusto, verde o con tonos púrpura y en algunos casos con ligera pubescencia, rasgos que influyen en la resistencia mecánica y en la adaptación de la planta al entorno, alcanzando en condiciones de campo alturas superiores a dos metros y evidenciando la diversidad morfológica de la especie (Simanjuntak, 2019).

1.3.3 Hábito de crecimiento

Kebede y Bekeko (2020), explican que el hábito de crecimiento del fréjol caupí morado está dividido en dos tipos de variedades: por crecimiento determinado y por crecimiento indeterminado; estos hábitos de crecimiento serán dependientes de diversos factores que determinarán su forma final.

1.3.4 Hojas

Las hojas del caupí son alternas y trifoliadas, con folíolos que varían en forma desde lobulados hasta triangulares o alargados, pecíolos que alcanzan hasta 15 cm con engrosamiento basal característico y superficies que pueden ser lisas o con finos pelos, rasgos que influyen en la eficiencia fotosintética y en la tolerancia de la planta a condiciones de estrés (Aziagba *et al.*, 2026).

1.3.5 Flores

Las flores del caupí se agrupan en racimos axilares y presentan la estructura papilionada típica de las leguminosas, con colores que van del blanco al rosado y púrpura, cada flor con diez estambres, nueve soldados y uno libre, detalles que reflejan la complejidad de su biología reproductiva y que influyen en la eficiencia de la polinización y en la producción de grano (Kim *et al.*, 2025).

1.3.6 Frutos

El fruto del caupí es una vaina cilíndrica y alargada de entre 8 y 30 cm que contiene semillas de forma ovoide o reniforme con colores que van del blanco al negro pasando por tonos marrones, mostrando una diversidad fenotípica en tamaño, textura y coloración que refleja la riqueza genética de la especie y su potencial para la selección de variedades y la conservación de la biodiversidad agrícola (Emmanuel y Okeke, 2026).

1.4 Fenología

El desarrollo fenológico de *Vigna unguiculata* comprende dos fases principales: vegetativa y reproductiva, la fase vegetativa inicia con la germinación y emergencia, seguida por el despliegue de las hojas cotiledonares y la posterior emisión de hojas verdaderas trifoliadas, en cambio, la fase reproductiva abarca la formación de botones florales, antesis (floración), cuajado y elongación de vainas, llenado de grano y madurez fisiológica (Boukar *et al.*, 2019; Kebede y Bekeko, 2020).

1.5 Requerimientos edafoclimáticos

Es un cultivo capaz de crecer en condiciones de calor y baja precipitación, sin embargo, la sequía impacta negativamente en todas sus etapas de desarrollo. Asimismo, las altas temperaturas nocturnas reducen el rendimiento del grano, ya que afectan la producción de flores y la viabilidad del polen; cada grado por encima de 16 °C durante la noche puede disminuir la producción entre un 4% y un 14%, además la baja fertilidad del suelo también contribuye a una menor productividad (Boukar *et al.*, 2019).

Vigna unguiculata es un cultivo adaptado a climas cálidos y tropicales, cuyo rango óptimo de temperatura se ubica entre 20 °C y 32 °C, además, muestra una considerable tolerancia a suelos con baja disponibilidad de nutrientes y acidez moderada (pH entre 5.5 y 7.2) debido a su capacidad para establecer simbiosis altamente efectivas con bacterias fijadoras de nitrógeno (Abebe y Alemayehu, 2022; Kim *et al.*, 2025).

De acuerdo con la Organización Mundial para la Alimentación (FAO, 2025), el fréjol es adaptable a diferentes tipos de suelo, aun así, lo adecuado son suelos profundos y frescos con un pH entre 5.5 y 6.0, para una producción óptima se recomienda aplicar entre 20 y 40 kg/ha de nitrógeno (N), 40 a 60 kg/ha de fósforo (P) y 50 a 120 kg/ha de potasio (K).

1.6 Siembra

Según la FAO (2025), el fréjol necesita ser sembrado a una profundidad de entre 5 a 7 cm, esta profundidad y el espaciamiento entre hileras y plantas será dependiente del tipo de suelo y la variedad de fréjol de interés a sembrar, en el caso del fréjol arbustivo se recomienda dejar de 5 a 10 cm entre plantas y de 50 a 70 cm entre hileras, en cambio, el fréjol escalado necesita más espacio, siendo así de 10 a 15 cm entre plantas y de 90 a 150 cm entre hileras

1.7 Plagas y enfermedades

Entre los insectos plaga de mayor incidencia en *Vigna unguiculata* se encuentran coleópteros masticadores y pulgones que afectan la biomasa foliar y actúan como vectores virales (Emmanuel y Okeke, 2026). Respecto a las enfermedades fitopatológicas, los hongos

causantes de royas, manchas foliares y pudriciones radicales representan las principales limitaciones para la productividad del caupí (Kim *et al.*, 2025).

El masticador de la hoja (*Acanthoscelides obtectus* Thomas Say.) se alimenta de las hojas primarias, comenzando por los bordes en dirección hacia el interior, estas infestaciones severas causan debilidad a la planta, siendo tan significativo que puede causarle la muerte a la planta (Baltazar *et al.*, 2021).

La roya del fréjol es causada por el hongo *Uromyces phaseoli*, esta enfermedad afecta al cultivo desde las primeras etapas causando daños considerables, siendo tanto el impacto que reduzca la producción en un 100%, se propaga con mayor facilidad en climas tropicales y subtropicales (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 2021).

1.8 Uso de microorganismos con efecto bioestimulante para el desarrollo del cultivo

Los bioestimulantes agrícolas constituyen una estrategia sostenible para mejorar el crecimiento, la eficiencia en el uso de nutrientes y la tolerancia de los cultivos frente a condiciones de estrés. Los bioestimulantes microbianos, los cuales están conformados por bacterias y hongos benéficos, actúan estimulando procesos fisiológicos y bioquímicos que favorecen el desarrollo vegetal y la productividad (Azzam *et al.*, 2026).

En el cultivo de fréjol caupí morado (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. unguiculata), las bacterias del género *Rhizobium* son consideradas bioestimulantes microbianos de gran importancia, ya que además de establecer una simbiosis eficiente para la fijación biológica de nitrógeno, pueden promover el crecimiento de las plantas mediante la producción de fitohormonas, la mejora en la absorción de nutrientes y el incremento de la tolerancia al estrés ambiental (Castiglione *et al.*, 2021).

1.8.1 *Rhizobium* sp. ZX09

La universidad de Michigan (University of Michigan, 2025) menciona el linaje taxonómico del NCBI de esta cepa de *Rhizobium* demostrado en la Tabla 2:

Tabla 2. Taxonomía de *Rhizobium* sp. ZX09

Dominio	Bacteria
Reino	Pseudomonadati
Filo	Pseudomonadota
Clase	Alphaproteobacteria
Orden	Hyphomicrobiales
Familia	Rhizobiaceae

Género	<i>Rhizobium</i>
Especie	<i>Rhizobium</i> sp. ZX09

Rhizobium sp. ZX09 es una cepa cuyo genoma completo se encuentra disponible en *GenBank* bajo el acceso CP031364.1. Sin embargo, la información publicada sobre sus características simbióticas, fisiológicas y agronómicas es escasa, por lo que su potencial como inoculante en *Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *unguiculata* requiere evaluación experimental (Zhang y Xu, 2018).

1.8.2 *Rhizobium tropici* CIAT 899

Rhizobium tropici CIAT 899 es una proteobacteria que establece un intercambio de nitrógeno mediante simbiosis con un gran rango de especies de leguminosas hospedadoras. Estas cepas se utilizan mucho en inoculantes comerciales en especial para la aplicación en cultivos de fréjol en Sudamérica y África, esta cepa presenta resistencia a diversas condiciones de estrés abiótico, en suelos de pH bajo y altas temperaturas así como en varios antimicrobianos incluidos en plaguicidas (Ormeño *et al.*, 2012).

1.8.3 *Rhizobium* sp.

Las bacterias del género *Rhizobium* establecen una relación simbiótica con las leguminosas, reduciendo la necesidad de fertilizantes sintéticos y mejorando la fertilidad del suelo (Cáceres *et al.*, 2024). Estas bacterias además de facilitar la disponibilidad de nitrógeno para la planta, también pueden estimular una mayor producción de proteínas y potenciar el crecimiento vegetal (Hidalgo *et al.*, 2019).

1.9 Investigaciones relacionadas

Gunnabo *et al.* (2019) estudiaron el desempeño simbiótico de diversos genotipos de rizobios en variedades de fréjol en África Oriental, comprendidas en grupos genéticos andinos y mesoamericanos demostrando que la cepa CFN42 de *R. etli* y las cepas CIAT899 y NAK91 de *R. tropici* fueron efectivas en diversos genotipos de fréjol.

Cáceres *et al.* (2024) evaluaron indicadores morfológicos del fréjol como: área foliar, altura de planta y número de flores para poder determinar diferencias estadísticas entre dos tipos de biofertilizantes enriquecidos con *Rhizobium* sp, uno ecuatoriano y otro mexicano. En esta investigación determinaron que existen diferencias altamente significativas mayormente por condiciones de temperatura, siendo así el producto ecuatoriano el que tiene mejores indicadores morfológicos en la etapa de floración.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en la Universidad Estatal Península de Santa Elena Extensión Manglaralto ubicado en la parroquia Manglaralto perteneciente a la Provincia de Santa Elena, mostrado en la Figura 10A, a una altura de 8 msnm. El clima en Santa Elena es tropical, su temperatura media anual máxima es de 29 °C y mínima de 21 °C, la precipitación mensual registrada ha sido de 48 mm, la humedad relativa anual se mantiene en 83% de acuerdo con el boletín más reciente del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2020). Según el Geo portal de SIGTIERRAS consultado en el MAGP (2018), Manglaralto cuenta con suelos de tipo Fluventic Eutrudepts, con textura franco – franco arcilloso, su pH es ligeramente alcalino con suelos con buen drenaje natural.

2.2 Materiales, equipos y reactivos

2.2.1 Material biológico

Cepas autóctonas de *Rhizobium* y semillas de fréjol caupí morado

2.2.2 Material de campo para colecta de muestras

Esfero, flexómetro, guantes, libreta de anotaciones.

2.2.3 Material de laboratorio

Mecheros, asas de platino, cajas Petri, cinta Parafilm, papel toalla tipo tela, alcohol al 70%, guantes, mascarilla, rotulador, marcador, bisturí, tapper.

2.2.4 Material de siembra

Azadones, picos, palas, rastrillos, machetes, hojarasca, cinta de peligro, semilleros, tierra de sembrado, cintas de riego, cinta de peligro, cuerda, alambre

2.2.5 Equipos de laboratorio

Balanza analítica, espectrofotómetro

2.2.6 Reactivos para medios de cultivo

LMA

2.2.7 Insumos agrícolas

Fertilizantes (abono completo), insecticida (cypermertrina), herbicida (bentazona)

2.2.8 Materiales para control fitosanitario

Bioinsecticida (extracto de ajo y ají)

2.2.9 Herramientas

Moto guadaña, gasolina, aceite lubricante, bomba de mochila

2.3 Tipo de investigación

El tipo de investigación fue experimental, ya que se analizó y se recopiló diferentes datos de los parámetros de interés respecto al desarrollo de la planta de fréjol caupí morado bajo la influencia de bacterias del género *Rhizobium*. Se pudo llegar a esta conclusión basado en el concepto de investigación experimental que es mencionado por Sampieri *et al.* (2014).

2.4 Diseño de investigación

2.4.1 Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un Diseño en Bloques con aleatorización parcial, constituido por 5 tratamientos y 4 bloques (repeticiones), dando un total de 20 parcelas experimentales. La unidad experimental correspondió a la parcela agrícola (superficie útil de 16.566 m²) esto se muestra en la Ilustración 1 y en la Tabla 3.

Dentro de cada parcela se evaluaron plantas individuales como submuestras representativas. Para evitar el efecto de pseudorreplicación en el análisis estadístico, los datos recolectados de las plantas submuestreadas dentro de una misma parcela fueron promediados, obteniendo una única respuesta representativa por parcela (n = 20 unidades observacionales en el ensayo).

Ilustración 1. Distribución de los bloques

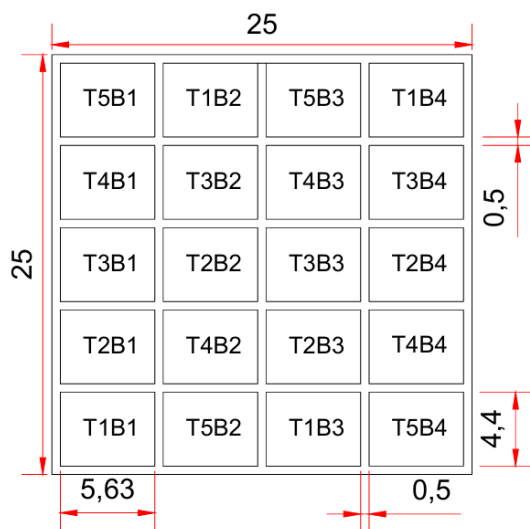


Tabla 3. Diseño experimental del experimento

Diseño experimental		DBCA
Número de tratamientos	5	
Número de repeticiones	4	
Número de parcelas	20	
Área de parcelas	24.728 m ²	
Área útil de parcela	16.566 m ²	
Área del bloque	123.64 m ²	
Área útil del bloque	82.83 m ²	
Efecto borde	0.5 m	
Distancia entre bloques	0.5 m	
Distancia de siembra	0.93 m × 0.25 m	
Número de plantas por sitio	1	
Longitud de línea	4.4 m	
Número de plantas por línea	17	
Número de plantas por parcela	85	
Número de plantas por experimento	1700	
Área útil del ensayo	331.32 m ²	
Área neta del ensayo	625 m ²	
Área total del ensayo	625 m ²	

2.5 Manejo del experimento

2.5.1 Preparación del suelo

Se realizó la respectiva limpieza de malezas del terreno con machetes, una vez limpios, se distinguió el espacio total, se separó los espacios de la zona de los bloques y parcelas con cinta de peligro utilizando estacas en cada esquina de parcela, luego se colocaron las líneas de riego para el riego por goteo.

2.5.2 Siembra

Se colocó una semilla por espacio de planta cada 0.25 m a una profundidad de 0.025 m aproximadamente (Alejandro, 2017), además se colocaron estacas para colocar alambres a lo largo de las líneas de siembra para que las plantas puedan trepar a través de cuerdas unidas al alambre.

2.5.3 Preparación de *Rhizobium*

Se realizó la inoculación de las semillas de fréjol caupí morado en el laboratorio de biotecnología de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) matriz, para esto se reactivaron las bacterias *Rhizobium* sp, *Rhizobium tropici* CIAT 899 y *Rhizobium* sp. ZX09, se preparó LMA apartando 300 mL de agua destilada en un matraz, se pesaron los reactivos, manitol, extracto de levadura, fosfato dipotásico, sulfato de magnesio y cloruro de sodio para 300 mL de agua destilada, se mezcló y selló con papel aluminio.

Se calentó y diluyó la solución en el agitador y se le agregó tres gotas de tinte rojo Congo, se colocó el matraz con el LMA en la autoclave a 103.4 kPa (15 psi) durante 15 minutos. Se desinfectó la cámara de flujo laminar con alcohol y se dejó reposar en luz UV durante 15 minutos. Una vez desinfectado el espacio de trabajo, se colocaron las cepas de *Rhizobium* en hielo para mantener su baja temperatura de reposo y se colocó en la cámara de flujo laminar con el resto de los instrumentos desinfectados.

Se dividió el LMA en las cajas Petri y se aplicó tres asadas de una bacteria en tres cajas Petri, así con las tres bacterias y luego se las colocó en el esterilizador durante 24 horas. Se preparó el caldo de bacterias, para esto se utilizaron los mismos reactivos que para el LMA, pero sin colocar Agar, la cantidad para cada bacteria que se preparó de caldo fue de 500 mL, siendo un total de 1500 mL de caldo para inocular las semillas previamente desinfectadas con alcohol y cloro.

Se dejó las semillas en el caldo durante 15 minutos, se filtró y se escurrió sobre papel toalla, se colocaron las semillas inoculadas en tres recipientes de aluminio, se recubrió con papel toalla humedecido con agua destilada y se selló con plástico, esto quedó en reposo durante un día y al siguiente se procedió a sembrarlas en semilleros.

2.5.4 Plan de fertilización y enmiendas

El manejo nutricional del cultivo de fréjol caupí morado se realizó considerando tanto los resultados del análisis de suelo (Figura 11A) como las necesidades específicas del cultivo mencionadas por Ayala *et al.* (2021). El suelo presentó niveles altos de fósforo, potasio, calcio y magnesio, mientras que el nitrógeno y la materia orgánica fueron bajos. Por esto, se optó por un esquema de fertilización moderado, priorizando la eficiencia y el manejo sostenible de los recursos.

En la etapa de semillero, se aplicaron 2 gramos por planta de fertilizante completo 12-11-18, esto para asegurar un arranque vigoroso, también para que las plántulas tuvieran fósforo suficiente para el desarrollo inicial de raíces. Más adelante, en la fase vegetativa, se aumentó la dosis a 12 gramos por planta, buscando reforzar el aporte de nitrógeno y potasio

en el momento en que la planta empieza a demandar más nutrientes para crecer y formar vainas.

Estas cantidades son menores a las necesidades teóricas del cultivo, pero se consideró que el suelo ya tenía reservas suficientes de fósforo y potasio, y que el caupí, al ser leguminosa, puede fijar parte del nitrógeno del aire gracias a la simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*. Además, se buscó un manejo económico y práctico, evitando excesos que pudieran generar pérdidas por lixiviación o acumulación de sales en un suelo arcilloso.

2.5.5 Manejo fitosanitario

El cultivo de fréjol caupí morado es muy susceptible a plagas, para esto, se emplearon las siguientes medidas:

Control biológico: Se fumigó una solución contra insectos plaga, esta contuvo una mezcla hecha de extracto de 20 cabezas de ajo y extracto de 200 ajíes pequeños diluido en 20 litros de agua.

Control químico: Se fumigó cipermetrina en una dosis de 50 mL en una bomba de 20 litros de agua en el día 15 después del trasplante. También se fumigó 47 mL de bentazona en 20 litros de agua para control de malezas 30 días después del trasplante.

2.5.6 Frecuencia de riego

Durante la etapa de semillero se regó manualmente las plántulas durante 15 días, una vez al día, una vez trasplantado al campo se mantuvo el riego tres veces por semana durante 2 horas, a partir de la etapa de desarrollo se disminuyó el riego por goteo a una vez por semana, debido al incremento de precipitaciones en la zona, hasta la etapa cercana a la cosecha donde se volvió a aumentar el riego a dos veces por semana durante 2 horas. El riego se realizó en horas de la mañana evitando las horas de mayor radiación solar, en la etapa de cosecha se disminuyó el riego a una vez por semana.

2.5.7 Preparación de tratamientos

El tratamiento 1 consistió en inocular las semillas con *Rhizobium tropici* CIAT 899 obtenida del banco de bacterias de UPSE un día antes de la siembra en semilleros, donde permaneció dos semanas, luego se realizó una segunda inoculación el día 30 después del trasplante en campo de manera foliar, fumigando 1500 mL de caldo de *Rhizobium tropici* CIAT 899 previamente preparado en el laboratorio en las cuatro repeticiones. Antes de fumigar se desinfectó la bomba de fumigación con jabón neutro y agua.

El tratamiento 2 *Rhizobium sp*, consistió en inocular las semillas con *Rhizobium sp* obtenida del banco de bacterias de UPSE un día antes de la siembra en semilleros, donde

permaneció dos semanas, luego se realizó una segunda inoculación el día 30 después del trasplante en campo de manera foliar, fumigando 1500 mL de caldo de *Rhizobium* sp. previamente preparado en el laboratorio en las cuatro repeticiones. Antes de fumigar se desinfectó la bomba de fumigación con jabón neutro y agua.

El tratamiento 3 *Rhizobium* sp. ZX09 consistió en inocular las semillas con *Rhizobium* sp. ZX09 obtenida del banco de bacterias de UPSE un día antes de la siembra en semilleros, donde permaneció dos semanas, luego se realizó una segunda inoculación el día 30 después del trasplante en campo de manera foliar, fumigando 1500 mL de caldo de *Rhizobium* sp. ZX09 previamente preparado en el laboratorio en las cuatro repeticiones. Antes de fumigar se desinfectó la bomba de fumigación con jabón neutro y agua.

Para el tratamiento 4 se mezcló fertilizante con la tierra de sembrado que se utilizó en el semillero, se sembraron las semillas directamente en la bandeja de germinación, dos semanas después se trasplantaron a campo y se realizó una segunda fertilización en el día 35 después del trasplante en campo.

En el tratamiento 5, en la primera etapa en bandeja de germinación se colocó la tierra de sembrado, solo se mantuvo el riego, una vez transcurridas dos semanas se trasplantó a campo y así mismo solo se mantuvo con riego sin ningún inoculante de bacterias *Rhizobium* o fertilizante.

2.5.8 Determinación de la concentración de las cepas

La densidad celular previa a la inoculación se determinó mediante espectrofotometría (BOECO S-220) a una longitud de onda de 535 nm, registrándose valores de densidad óptica (DO535) de 0.227 ABS para *Rhizobium* sp., 0.291 ABS para *Rhizobium* sp. ZX09 y 0.306 ABS para *Rhizobium tropici* CIAT 899. La densidad óptica se utilizó como un indicador indirecto de la turbidez y densidad del cultivo bacteriano en la fase previa a la aplicación en campo.

La concentración de las suspensiones de *Rhizobium* sp., *Rhizobium* sp. ZX09 y *Rhizobium tropici* CIAT 899 se estandarizó en 1×10^8 unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/mL) mediante el método de recuento viable en placa. Para ello, se tomó una alícuota de cada suspensión bacteriana y se realizaron diluciones seriadas decimales en diluyente estéril. De las diluciones obtenidas se seleccionaron aquellas que permitieron obtener un número de colonias cuantificable y se sembraron alícuotas de volumen conocido sobre medio de cultivo sólido apropiado para el crecimiento de las cepas. Las placas fueron incubadas bajo las condiciones establecidas para el crecimiento de *Rhizobium*.

Una vez finalizado el período de incubación, se seleccionaron las placas que presentaron un número adecuado de colonias para el recuento y se determinó la concentración bacteriana de cada suspensión mediante la siguiente ecuación:

$$\text{UFC/mL} = N \times \text{FD} / V$$

donde (N) corresponde al número de colonias contabilizadas, (FD) al factor de dilución y (V) al volumen de suspensión sembrado, expresado en mililitros. A partir de la concentración obtenida para cada cepa, las suspensiones fueron ajustadas individualmente mediante dilución con diluyente estéril hasta alcanzar una concentración final de 1×10^8 UFC/mL. Finalmente, se verificó la concentración de las suspensiones estandarizadas mediante un nuevo recuento viable en placa antes de su utilización como inoculantes en *Vigna unguiculata*.

2.6 Parámetros evaluados

2.6.1 Morfológicos

Altura de la planta (cm): con ayuda de un flexómetro se evaluó la altura de 40 de las plantas desde el ras del suelo hasta el ápice de la planta por tratamiento, según la metodología de Boukar *et al.* (2019). Se tomaron estos datos a partir del día 18 desde la siembra, cada 8 días seis veces.

Número de hojas: antes del comenzar la etapa de floración, con ayuda de lápiz y papel se contó el número de hojas de 40 plantas por tratamiento a partir del día 18 desde la siembra, cada 8 días seis veces.

Número de nódulos: Se contó el número de nódulos de 40 plantas por tratamiento después de la cosecha; de cada nódulo contado, se observó la coloración de cada nódulo para confirmar que esté activo por su característico color rosáceo.

Número de flores: Se realizó el conteo de flores de 40 plantas por tratamiento y se realizó el cálculo de medias por muestra siguiendo la metodología indicada por AGROCALIDAD (2018).

Número de vainas: Se contó el número de vainas de 40 plantas por tratamiento, esto según la metodología de González *et al.* (2021).

Porcentaje de germinación (%): Se contó el número de semillas germinadas en los semilleros y se dividió para el número total de semillas sembradas multiplicado por 100 (Alsaedi *et al.*, 2017).

2.6.2 Rendimiento por tratamiento (kg): Se tomó el peso de 100 semillas por tratamientos para obtener un promedio, esto según la metodología de Chipana *et al.* (2017) y de Flores *et al.* (2023).

2.7 Análisis estadístico de los resultados

Se ejecutó un Análisis de Varianza (ANOVA) con 12 grados de libertad para el error experimental $[(5 \text{ tratamientos} - 1) \times (4 \text{ bloques} - 1) = 12 \text{ GL}]$, también se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) mediante el software estadístico Infostat, además de una prueba de normalidad para cada variable.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Efectos en los parámetros morfológicos

3.1.1 Porcentaje de germinación (%)

En la Tabla 4 se presenta el porcentaje de germinación de las semillas de fréjol caupí morado (*Vigna unguiculata*) para cada tratamiento. El porcentaje de germinación fluctuó en un rango de 87.00% a 98.00%. El mayor valor numérico se registró en el tratamiento T3 (inoculación con *Rhizobium* sp. ZX09) con un 98.00%, seguido por el T2 (*Rhizobium* sp.) con 95.00%, T1 (*Rhizobium tropici* CIAT 899) con 90.00%, T5 (Testigo agua) con 90.00% y T4 (Fertilizante completo) con 87.00%.

Aunque se observó una ligera variación numérica entre tratamientos, los porcentajes se mantuvieron en niveles altos y adecuados para el establecimiento inicial del cultivo. Esta respuesta es consistente con lo señalado por Kim *et al.* (2025), quienes indican que el proceso de germinación en *Vigna unguiculata* depende primordialmente de las reservas energéticas de la semilla y del estatus de humedad del suelo.

Asimismo, Castiglione *et al.* (2021) y Azzam *et al.* (2026) destacan que los beneficios fisiológicos de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y la simbiosis con *Rhizobium* se manifiestan principalmente en etapas posteriores del desarrollo vegetativo y radical, una vez que la planta establece la interacción rizosférica.

Tabla 4. Porcentaje de germinación (%)

Tratamientos	Germinación (%)
T1 (Inoculación con <i>Rhizobium tropici</i> CIAT 899) (IRC1)	90.00
T2 (Inoculación con <i>Rhizobium</i> sp.) (IRC2)	95.00
T3 (Inoculación con <i>Rhizobium</i> sp. ZX09) (IRC3)	98.00
T4 (Fertilizante completo)	87.00
T5 (Testigo= Agua)	90.00

3.1.2 Altura de planta (cm)

En la Tabla 5 se resume la respuesta en altura de planta a los 15, 37 y 62 días después de la siembra (DDS). A los 15 DDS no se registraron diferencias estadísticamente significativas generales entre tratamientos según el Análisis de Varianza ($p = 0.0514$), registrando un coeficiente de variación de 10.01%.

En las evaluaciones posteriores a los 37 DDS ($p = 0.2472$; CV = 8.00%) y 62 DDS ($p = 0.5779$; CV = 20.19%), el cultivo mantuvo un crecimiento homogéneo entre

tratamientos. A los 37 DDS los promedios oscilaron entre 37.57 cm (T4) y 42.23 cm (T1), mientras que a los 62 DDS alcanzaron valores comprendidos entre 99.02 cm (T4) y 121.16 cm (T1).

Este comportamiento coincide con las observaciones de Boukar *et al.* (2019) y Kim *et al.* (2025), quienes afirman que la elongación caulinar en *Vigna unguiculata* bajo condiciones no limitantes de humedad está fuertemente regulada por el hábito de crecimiento del genotipo.

Tabla 5. Altura de la planta en el efecto agronómico de la inoculación con *Rhizobium* en el cultivo de fréjol caupí morado (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *unguiculata*) en condiciones de campo

Tratamientos	AP 15	AP 37	AP 62
T1 (Inoculación con <i>Rhizobium tropici</i> CIAT 899) (IRC1)	20.37 a	42.23 a	121.16 a
T2 (Inoculación con <i>Rhizobium</i> sp.) (IRC2)	21.23 a	41.13 a	111.12 a
T3 (Inoculación con <i>Rhizobium</i> sp. ZX09) (IRC3)	20.90 a	39.79 a	99.86 a
T4 (Fertilizante completo)	16.97 a	37.57 a	99.02 a
T5 (Testigo= agua)	18.79 a	38.03 a	103.02 a
CV (%)	10.01	8.00	20.19
P<0.05	0.0514	0.2472	0.5779

*AP= Altura de planta a los 15, 37 y 62 días de evaluación.

*CV= Coeficiente de variación (%)

*P= p-valor.

*abc= Letras iguales no difieren estadísticamente

3.1.3 Número de hojas

La Tabla 6 presenta los resultados para la emisión foliar a los 15, 37 y 62 DDS. A los 15 DDS se detectaron diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos ($p = 0.0027$; $CV = 15.59\%$). El tratamiento T1 (*Rhizobium tropici* CIAT 899) registró el mayor número promedio de hojas (4.25), superando estadísticamente a los tratamientos T3 (3.13), T4 (2.70) y T5 (2.50). Este desarrollo foliar inicial más acelerado en T1 sugiere un estímulo temprano de la inoculación sobre el despliegue de las hojas verdaderas.

El incremento foliar acumulativo observado hacia los 62 días refleja la expansión vegetativa normal del caupí previa a la fase reproductiva. Como señalan Aziagba *et al.* (2026) y Simanjuntak (2019), la producción de biomasa foliar en *Vigna unguiculata*

responde a la capacidad fotosintética acumulada y a la disponibilidad de nutrientes en el perfil del suelo.

Tabla 6. Número de hojas bajo el efecto agronómico de la inoculación con *Rhizobium* en el cultivo de fréjol caupí morado (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. unguiculata) en condiciones de campo

Tratamientos	NH 15	NH 37	NH 62
T1 (Inoculación con <i>Rhizobium tropici</i> CIAT 899) (IRC1)	4.25 a	39.13 a	107.83 a
T2 (Inoculación con <i>Rhizobium</i> sp.) (IRC2)	3.35 ab	37.03 a	99.68 a
T3 (Inoculación con <i>Rhizobium</i> sp. ZX09) (IRC3)	3.13 b	43.93 a	103.15 a
T4 (Fertilizante completo)	2.70 b	50.58 a	109.78 a
T5 (Testigo = agua)	2.50 b	52.18 a	90.28 a
CV (%)	15.59	24.60	18.68
P<0.05	0.0027	0.2620	0.6343

*NH= Número de Hojas a los 15, 37 y 62 días de evaluación.

*CV= Coeficiente de variación (%)

*P= p-valor.

*abc= Letras iguales no difieren estadísticamente

3.1.4 Número de flores

El comportamiento del florecimiento acumulado por planta se muestra en la Tabla 7. El Análisis de Varianza no mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados ($p = 0.1483$), registrándose un coeficiente de variación de 20.14%. Los valores promedio oscilaron entre 17.35 flores/planta en T2 (*Rhizobium* sp.) y 24.33 flores/planta en T3 (*Rhizobium* sp. ZX09).

El tratamiento con fertilizante completo (T4) alcanzó un promedio de 20.85 flores, mientras que T1 y T5 registraron 18.45 y 17.95 flores, respectivamente. Aunque T3 presentó numéricamente la mayor emisión floral, la variabilidad observada en campo y el número de repeticiones no permitieron establecer una separación estadística.

Este resultado concuerda con lo descrito por Abebe y Alemayehu (2022) y Emmanuel y Okeke (2026), quienes sostienen que la floración en *Vigna unguiculata* es un parámetro altamente sensible a las variaciones microclimáticas de temperatura y radiación solar, así como al hábito indeterminado de floración intermitente de la especie.

Tabla 7. Número de flores bajo el efecto agronómico de la inoculación con *Rhizobium* en el cultivo de fréjol caupí morado (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *unguiculata*) en condiciones de campo

Tratamientos	NF
T1 (Inoculación con <i>Rhizobium tropici</i> CIAT 899) (IRC1)	18.45 a
T2 (Inoculación con <i>Rhizobium</i> sp.) (IRC2)	17.35 a
T3 (Inoculación con <i>Rhizobium</i> sp. ZX09) (IRC3)	24.33 a
T4 (Fertilizante completo)	20.85 a
T5 (Testigo= agua)	17.95 a
CV (%)	20.14
P<0.05	0.1483

*NF= Número de flores

*CV= Coeficiente de variación (%)

*P= p-valor.

*abc= Letras iguales no difieren estadísticamente

3.1.5 Número de vainas

La Tabla 8 detalla el número de vainas formadas por planta a los 68 y 75 DDS. En ambas fechas de evaluación no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p = 0.0805$ a los 68 DDS; $p = 0.6713$ a los 75 DDS), registrándose coeficientes de variación de 15.75% y 18.44%, respectivamente. A los 68 DDS, los promedios numéricos fluctuaron entre 15.30 (T1) y 19.95 vainas/planta (T4). A los 75 DDS, la producción de vainas varió entre 17.75 (T1) y 21.28 vainas/planta (T4).

La uniformidad estadística entre tratamientos inoculados, fertilizados y el testigo sin aplicación indica que el cuajado y retención de vainas estuvo sustentado por las reservas nutricionales del suelo y la capacidad fisiológica de la planta. Según señalan Kim *et al.* (2025) y Simanjuntak (2019), la fructificación en caupí está condicionada por la eficiencia fotosintética y por tasas naturales de abscisión floral, las cuales regulan el número final de estructuras reproductivas por planta.

Tabla 8. Número de vainas bajo el efecto agronómico de la inoculación con *Rhizobium* en el cultivo de fréjol caupí morado (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *unguiculata*) en condiciones de campo

Tratamientos	NV 68	NV 75
T1 (Inoculación con <i>Rhizobium tropici</i> CIAT 899) (IRC1)	15.30 a	17.75 a
T2 (Inoculación con <i>Rhizobium</i> sp.) (IRC2)	15.43 a	18.43 a
T3 (Inoculación con <i>Rhizobium</i> sp. ZX09) (IRC3)	19.78 a	20.08 a

T4 (Fertilizante completo)	19.95 a	21.28 a
T5 (Testigo= agua)	18.85 a	19.53 a
CV (%)	15.75	18.44
P<0.05	0.0805	0.6713

*NV= Número de vainas a los 68 y 75 días de evaluación.

*CV= Coeficiente de variación (%)

*P= p-valor.

*abc= Letras iguales no difieren estadísticamente

3.1.6 Número de nódulos

Los resultados del conteo de nódulos radiculares evaluados a los 118 DDS se presentan en la Tabla 9. El ANOVA no mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p = 0.2825$), con un coeficiente de variación de 57.22%. Numéricamente, las plantas inoculadas con bacterias del género *Rhizobium* presentaron un mayor promedio numérico de nódulos (38.00 en T1; 32.79 en T3; y 31.79 en T2) en comparación con los controles sin inoculación (18.96 en T5 y 16.25 en T4).

Es importante precisar que un mayor número de nódulos constituye un indicador de la infectividad y colonización de la cepa sobre el sistema radical de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. unguiculata, pero no representa por sí solo una prueba cuantitativa de la tasa de fijación biológica de nitrógeno (FBN) (Nkurunziza *et al.*, 2025). Para determinar con exactitud la eficiencia simbiótica requeriría medirse adicionalmente la masa seca de nódulos activos, la acumulación de nitrógeno total en tejido o mediante técnicas isotópicas como N-15.

La elevada variabilidad ($CV = 57.22\%$) es un fenómeno común en estudios de campo sobre simbiosis leguminosa-rizobio, asociado a la distribución heterogénea de las bacterias en la rizosfera y a la competencia con microflora nativa (Azzam *et al.*, 2026). Por otra parte, la evaluación realizada a los 118 DDS coincide con la etapa final del ciclo productivo del cultivo, momento en el cual muchos nódulos han entrado en fase de senescencia biológica y degradación estructural.

Como indican Abebe y Alemayehu (2022) y Kim *et al.* (2025), la nodulación activa en *Vigna unguiculata* alcanza su máximo pico funcional durante la floración y el llenado de vainas, reduciéndose progresivamente hacia la madurez fisiológica.

Tabla 9. Número de nódulos bajo el efecto agronómico de la inoculación con *Rhizobium* en el cultivo de fréjol caupí morado (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *unguiculata*) en condiciones de campo

Tratamientos	NN 118
T1 (Inoculación con <i>Rhizobium tropici</i> CIAT 899) (IRC1)	38.00 a
T2 (Inoculación con <i>Rhizobium</i> sp.) (IRC2)	31.79 a
T3 (Inoculación con <i>Rhizobium</i> sp. ZX09) (IRC3)	32.79 a
T4 (Fertilizante completo)	16.25 a
T5 (Testigo= agua)	18.96 a
CV (%)	57.22
P<0.05	0.2825

*NN= Número de nódulos a los 118 días de evaluación.

*CV= Coeficiente de variación (%)

*P= p-valor.

*abc= Letras iguales no difieren estadísticamente

3.1.7 Peso de semillas

La Tabla 10 muestra el peso de 100 semillas cosechadas en fresco, evaluado a los 68 y 75 DDS. El análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las dos fechas ($p = 0.2481$ a los 68 DDS; $p = 0.1798$ a los 75 DDS), registrándose coeficientes de variación muy bajos y precisos (6.12% y 4.27%). A los 68 DDS el peso varió de 28.98 g (T4) a 31.76 g (T1), mientras que a los 75 DDS osciló entre 26.26 g (T3) y 28.13 g (T1).

Este comportamiento coincide con lo reportado por Boukar *et al.* (2019), Aziagba *et al.* (2026) y Kim *et al.* (2025), quienes destacan que el tamaño y masa individual de la semilla en *Vigna unguiculata* son caracteres cuantitativos estables bajo condiciones normales de nutrición y manejo agronómico.

Tabla 10. Peso de 100 semillas bajo el efecto agronómico de la inoculación con *Rhizobium* en el cultivo de fréjol caupí morado (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *unguiculata*) en condiciones de campo

Tratamientos	PS 68	PS 75
T1 (Inoculación con <i>Rhizobium tropici</i> CIAT 899) (IRC1)	31.76 a	28.13 a
T2 (Inoculación con <i>Rhizobium</i> sp.) (IRC2)	29.55 a	27.50 a
T3 (Inoculación con <i>Rhizobium</i> sp. ZX09) (IRC3)	29.88 a	26.26 a
T4 (Fertilizante completo)	28.98 a	26.92 a
T5 (Testigo= agua)	29.02 a	26.35 a

CV (%)	6.12	4.27
P<0.05	0.2481	0.1798

*PS= Peso de semillas a los 68 y 75 días de evaluación.

*CV= Coeficiente de variación (%)

*P= p-valor.

*abc= Letras iguales no difieren estadísticamente

3.2 Rendimiento de semilla verde estimado (kg/ha)

El rendimiento de semilla verde fresco proyectado a una hectárea (10 000 m²) se estimó a partir de los componentes morfológicos y productivos evaluados en el área útil del ensayo (331.32 m², con una densidad equivalente a 27 200 plantas/ha). La estimación consideró el peso promedio de 100 semillas en fresco, el número de vainas por planta, el número promedio de semillas por vaina y una proyección sustentada en tres ciclos de cosecha. Dado que la cosecha y pesaje de los frutos se efectuó en estado fresco / verde (grano tierno) para su comercialización en fresco, los rendimientos se reportan como masa de semilla verde, aplicando la siguiente memoria de cálculo:

Rendimiento por cosecha (kg/ha)

$$= \left(\frac{\text{Peso de 100 semillas (g)}}{100} \right) \times \text{Vainas/planta} \times \text{Semillas/vaina} \times 27\,200 \times \frac{3}{1\,000}$$

Bajo esta metodología, el tratamiento T3 (*Rhizobium* sp. ZX09) alcanzó el mayor rendimiento proyectado con 7747.48 kg/ha (7.75 t/ha), seguido por la fertilización completa (T4) con 7521.81 kg/ha (7.52 t/ha). Los tratamientos T1 (CIAT 899) y T2 (*Rhizobium* sp.) proyectaron 6460.65 kg/ha y 6303.25 kg/ha, mientras que el testigo sin fertilización ni inoculación (T5) registró el valor más bajo con 5635.03 kg/ha, esto se puede observar en la Tabla 11.

Tabla 11. Análisis de rentabilidad financiera del cultivo de fréjol caupí morado en verde por ciclo

Tratamientos	Peso de 100 semillas por tratamiento (g)	Número de vainas por tratamiento	Plantas por tratamiento	Plantas ha	semillas por vaina	semillas por tratamiento	kg/ha en 3 cosechas
T1	29.95	16.53	340.00	27 200	16.00	264.40	6460.65
T2	28.53	16.93	340.00	27 200	16.00	270.80	6303.25
T3	28.07	19.93	340.00	27 200	17.00	338.73	7747.48
T4	27.95	20.61	340.00	27 200	16.00	329.80	7521.82
T5	27.69	19.19	340.00	27 200	13.00	249.44	5635.03

- *T1 (Inoculación con *Rhizobium tropici* CIAT 899) (IRC1)
- *T2 (Inoculación con *Rhizobium* sp.) (IRC2)
- *T3 (Inoculación con *Rhizobium* sp. ZX09) (IRC3)
- *T4 (Fertilizante completo)
- *T5 (Testigo= agua).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se evaluaron los efectos de diferentes cepas autóctonas de *Rhizobium* sobre el crecimiento, nodulación y rendimiento del cultivo de fréjol caupí morado (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *unguiculata*) en la parroquia Manglaralto provincia de Santa Elena. Al utilizar tres cepas diferentes del género *Rhizobium* con misma concentración cada una, se pudo comparar diferentes variables.

Se determinó el efecto de la inoculación con *Rhizobium* sobre las características morfológicas del fréjol caupí morado, al medir las variables de porcentaje de germinación, altura, número de hojas, y número de flores, donde se demostró que la bacteria *Rhizobium* sp. ZX09 tuvo mayor porcentaje de germinación y mayor emisión floral numérica, la bacteria *Rhizobium* sp. mantuvo un mayor promedio numérico en la altura inicial y la bacteria *Rhizobium tropici* CIAT 899 tuvo el mayor promedio numérico de hojas inicial.

Se evaluó la nodulación y desarrollo foliar del cultivo bajo la misma concentración de inoculante, mediante el conteo de nódulos de las plantas al final de su ciclo de producción, *Rhizobium tropici* CIAT 899 demostró mayor promedio de formación de nódulos.

Se analizó el rendimiento del cultivo con y sin inoculación, mediante las variables número de vainas y peso de semillas, donde se demostró que la aplicación de fertilizantes fue mayormente viable, sin embargo, la inoculación con *Rhizobium* sp. ZX09 fue la segunda mejor opción

Recomendaciones

Se recomienda para futuras investigaciones relacionadas con *Rhizobium*, analizar más los nódulos en diferentes tiempos del ciclo vegetativo de la planta mediante el conteo de número de nódulos, peso seco y porcentaje de nódulos activos; ya que, al ser una variable que no se puede observar a simple vista en cualquier etapa del cultivo, podría mostrar información importante, especialmente para la cepa *Rhizobium* sp. ZX09, la cual ha sido poco estudiada.

También se recomienda mejorar la materia orgánica incorporando compost o estiércol para suelos con parámetros similares a los expuestos en el análisis de suelo, no solo para el aporte de nitrógeno de forma gradual, sino que también mejora la estructura del suelo y la disponibilidad de micronutrientes como hierro y zinc, que en el análisis aparecieron en niveles medios o bajos. En caso de observar síntomas de deficiencia, se pueden realizar aplicaciones foliares específicas.

Además, se recomienda tener en cuenta el método de cosecha del fréjol, para mantener la calidad de cultivo alta ante el consumidor, y por ende no solo sea comercializado a nivel local sino también a nivel interprovincial a través de mercados nacionales reconocidos

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abebe, B. y Alemayehu, M. 2022. 'A review of the nutritional use of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) for human and animal diets', Journal of Agriculture and Food Research, 10, p. 100383. doi: 10.1016/j.jafr.2022.100383
- AGROCALIDAD (Agencia de Regulación y Control Zoo Fitosanitario). 2018. Instructivo: muestreo para análisis de foliares.
- Alejandro, S. 2017. *Efecto de diferentes densidades de siembra y control fitosanitario en fréjol caupí (Vigna unguiculata, L Walp), en Manglaralto provincia de Santa Elena*. Trabajo de titulación, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Ciencias Agrarias. Disponible en: Repositorio UPSE (accessed: 9.8.26)
- Alsaeedi, A., El-Ramady, H., Alshaal, T. y Almohsen, M. 2017. Enhancing seed germination and seedlings development of common bean (*Phaseolus vulgaris*) by SiO₂ nanoparticles. ResearchGate 57. <https://doi.org/10.21608/ejss.2017.891.1098>
- Ayala, A., Acosta, J. y Reyes, L. 2021. El cultivo de fréjol presente y futuro para México. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Disponible en: https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_librotecnico/12319_5085_El_cultivo_del_fréjol_presente_y_futuro_para_M%C3%A9xico.pdf
- Aziagba, B.O., Okeke, C.U., Ezeabara, C.A., Ilodibia, C., Egboka, T.P. y Obika, I.E. 2026. 'Taxonomic Implication of Morphology of Seven Varieties of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Cultivated in Awka Anambra State, South Eastern Nigeria', American Journal of Life Science Researches, 4(4), pp. 131-135. doi: 10.21859/ajlsr-040404
- Azzam, C., Rady, M., Al-Taweel, S., Khaled, K. y Mostafa, S. 2026. Biostimulants in modern agriculture: a comprehensive review of microbial and non-microbial categories, mechanisms, and sustainability implications. J. Plant Nutr. 49, 1642–1663. <https://doi.org/10.1080/01904167.2026.2659231>
- Baltazar, H., Baltazar, D., Baltazar, N. y Álvarez, D. 2021. Primer registro de *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) en *Senna multiglandulosa* (Fabaceae) de la región andina central del Perú. Cienc. Tecnol. Agropecu. 22, e2290. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num3_art:2290
- Boukar, O., Togola, A., Chamarthi, S., Belko, N., Ishikawa, H., Suzuki, K., y Fatokun, C. 2019. Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] Breeding, in: Al-Khayri, J.M., Jain, S.M., Johnson, D.V. (Eds.), *Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes*. Springer International Publishing, Cham, pp. 201–243. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23400-3_6
- Cáceres, E., Aguirre, A., Castro, R., Almaraz, J., Colinas, M., Juárez, M. de J. y Montes, R. 2024. Efecto de biofertilizantes en el recuento de rizobios e indicadores morfológicos del fréjol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en Ecuador. Chil. J. Agric. Anim. Sci. 40, 66–80. <https://doi.org/10.29393/CHJAAS40-7EBER70007>
- Cantaro, H., Huaranga, A. y Zúñiga, D. 2019. Efectividad simbiótica de dos cepas de *Rhizobium* sp. en cuatro variedades de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Perú. Idesia Arica 37, 73–81. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000400073>

- Castiglione, A., Mannino, G., Contartese, V., Berteà, C. y Ertani, A. 2021. Microbial Biostimulants as Response to Modern Agriculture Needs: Composition, Role and Application of These Innovative Products. *Plants* 10, 1533. <https://doi.org/10.3390/plants10081533>
- Chipana, V., Clavijo, C., Medina, P. y Castillo, D. 2017. Inoculación de vainita (*Phaseolus vulgaris* L.) con diferentes concentraciones de *Rhizobium etli* y su influencia sobre el rendimiento del cultivo. *Ecol. Apl.* 16, 91–98. <https://doi.org/10.21704/rea.v16i2.1012>
- Emmanuel, O. y Okeke, S.N. 2026. 'A review of the nutrient and ethnomedicinal value of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)', *Clinical Traditional Medicine and Pharmacology*, 7(1), p. 200262. doi: 10.1016/j.ctmp.2026.200262.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2025. BEAN. Organ. Las N. U. Para Aliment. Agric. URL <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/bean/fr/> (accessed 5.2.25).
- Flores, R., Bárcenas, M., Miranda, M., Morales, A. y Jiménez, M. 2023. Evaluación del potencial de hongos micorrizas y bacterias *Rhizobium* en el desarrollo fenológico y rendimiento del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris*). *Nexo Rev. Científica* 36, 808–819. <https://doi.org/10.5377/nexo.v36i06.17436>
- González, I., Ynfante, D., Gorrita, S., Morales, B., Nápoles, M., Delgado, B. y Martínez, B. 2021. Efectos de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt y Nirenberg y Azofert sobre el crecimiento y desarrollo de *Phaseolus vulgaris* L. *Rev. Protección Veg.* 36.
- Gunnabo, A., Geurts, R., Wolde-meskel, E., Degefu, T., Giller, K. y van Heerwaarden, J. 2019. Genetic Interaction Studies Reveal Superior Performance of *Rhizobium tropici* CIAT899 on a Range of Diverse East African Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes. *Appl. Environ. Microbiol.* 85, e01763-19. <https://doi.org/10.1128/AEM.01763-19>
- Hidalgo, J., Ramos, C., Lezama, P., Chuna, P. y Chaman, M. 2019. Coinoculación de *Rhizophagus irregularis* y *Rhizobium* sp. en *Phaseolus vulgaris* L. var. canario (Fabaceae) "fréjol canario. *Arnaldoa* 26, 991–1006. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26309>
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). 2020. *Anuario Meteorológico 2020*. Quito: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. <https://servicios.inamhi.gob.ec/anuarios-metereologicos/>
- Kebede, E. y Bekeko, Z. 2020. Expounding the production and importance of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Ethiopia. *Cogent Food Agric.* 6, 1769805. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1769805>
- Kim, D.-K., Ochar, K., Iwar, K., Ha, B.-K. y Kim, S.-H. 2025. 'Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) production, genetic resources and strategic breeding priorities for sustainable food security: a review', *Frontiers in Plant Science*, 16, p. 1562142. doi: 10.3389/fpls.2025.1562142.
- Kirarei, E., Kipsumbai, P., Jeruto, P. y Kiprop, E. 2025. An overview on the Taxonomy, Distribution, Production and Economic Importance of Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) 2. <https://doi.org/10.69897/joclipm.v2i3>

- Lapa, P., Salazar, R., Saldaña, P., Laura, L., Taípe, M. y Mañuico, R. 2024. Efectividad de diferentes cepas de rizobios sobre el rendimiento del cultivo de fréjol canario (*Phaseolus vulgaris* L.) en Perú. *Idesia Arica* 42, 55–62. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292024000300055>
- MAGP (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca). 2018. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca - Geoportal Agro Ecuat. URL <http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/visor-geo> (accessed 5.3.25).
- MAGP (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca). 2024. Boletín Situacional Fréjol 2023. URL <https://online.fliphtml5.com/ijia/vnvs/> (accessed 3.29.25).
- Nkurunziza, G., Mbeyagala, E.K., Adjei, E.A., Dramadri, I.O., Edema, R., Badji, A. y Rubaihayo, P. 2025. 'Genome-wide association study of biological nitrogen fixation traits in mini-core cowpea germplasm', *PLOS ONE*, 20(5), p. e0322203. doi: 10.1371/journal.pone.0322203.
- Ormeño, E., Menna, P., Almeida, L., Ollero, F., Nicolás, M., Pains, E., Shigueyoshi, A., Silva, J., Oliveira, L., Souza, R., Ribeiro, A., Megías, M., Hungria, M. y Martínez, E. 2012. Genomic basis of broad host range and environmental adaptability of *Rhizobium tropici* CIAT 899 and *Rhizobium* sp. PRF 81 which are used in inoculants for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *BMC Genomics* 13, 735. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-735>
- Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, P. 2014. Metodología de la investigación, 6ta ed. McGraw Hill España.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 2021. Roya del fréjol.
- Simanjuntak, H. 2019. Studi Keragaman Genetik Kacang Tunggak (*Vigna unguiculata*) Berdasarkan Karakteristik Morfologi di Kabupaten Samosir. Tesis de grado inédita. Universitas Negeri Medan. Disponible en: <https://digilib.unimed.ac.id/id/eprint/31762/>
- Torres, E., Quishpe, D., Sánchez, A. y Reyes, M. 2024. Caracterización de la producción de fréjol en la provincia de Cotopaxi Ecuador: Caso comuna Panyatug. *Cienc. Tecnol.* 6, 23–31. <https://doi.org/10.18779/cyt.v6i1.176>
- University of Michigan. 2025. Michigan Medicine. *Rhizobium* sp ZX09. URL https://rrndb.umms.med.umich.edu/genomes/GCF_017357485.1 (accessed 6.20.26).
- Velasco, A., Castellanos, O., Acevedo, G., Aarland, R. y Rodríguez, A. 2020. Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoam.* 38, 333–345. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>
- Zhang, J. y Xu, L. 2018. Direct Submission: Center for Molecular Metabolism, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu, China. Base de datos GenBank/NCBI. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/CP031364.1/>

ANEXOS



Figura 1A. Plagas encontradas



Figura 2A. Daño en la planta por plagas



Figura 3A. Flor de fréjol caupí morado, hojas, vainas y grupos de 100 semillas



Figura 4A. Inoculación de semillas, reactivación de cepas y preparación de caldo de bacterias



Figura 5A. Siembra en semilleros en invernadero



Figura 6A. Absorbancia de las bacterias *Rhizobium* sp., *Rhizobium* sp. ZX09 y *Rhizobium tropici* CIAT 899



Figura 7A. Toma de datos de nódulos



Figura 8A. Adecuación del terreno y toma de datos

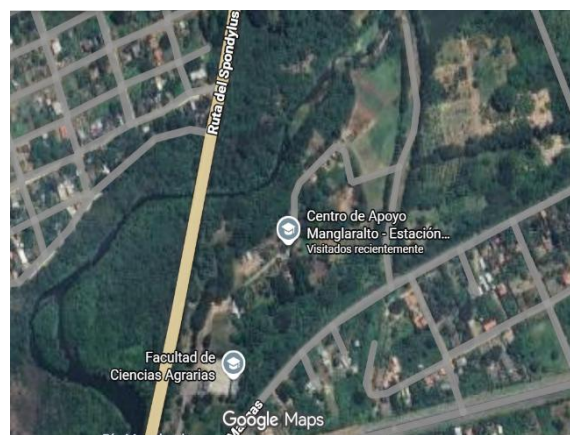


Figura 10A. Mapa de localización del Centro de Apoyo Manglaralto – UPSE
Fuente: *Google Maps*

ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"

LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS

Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24
Quevedo - Ecuador Telef: 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO

Nombre : MEREJILDO ROSALES STEFANNY
Dirección : SANTA ELENA
Ciudad : SANTA ELENA
Teléfono : 0968581541
Fax :

DATOS DE LA PROPIEDAD

Nombre : S/N
Provincia : Santa Elena
Cantón : Santa Elena
Parroquia : Malgarr Alto
Ubicación : Malgarr Alto

PARA USO DEL LABORATORIO

Cultivo Actual : Maíz
N° Reporte : 14131
Fecha de Muestreo : 2/2/2026
Fecha de Ingreso : 3/2/2026
Fecha de Salida : 23/2/2026

N° Muest. Laborat.	Datos del Lote		pH	ppm		meq/100ml					ppm				
	Identificación	Area		NH ₄	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	
118131	M1 Steffany Merejildo		7,4 PN	18 B	32 A	5,84 A	19 A	4,6 A	50 A	3,2 M	5,5 A	14 B	12,5 M	1,44 A	

La muestra se marcó en el laboratorio
por tres meses. Los datos de esta muestra
recibimos en los resultados de

INTERPRETACION				
pH			Elementos de N a B	
MAc = Muy Acido	LAc = Liger. Acido	LAAl = Liger. Alcalino	RC = Requiere Cal	B = Bajo
Ac = Acido	PN = Prac. Neutro	MeAl = Media. Alcalino		M = Medio
MeAc = Media. Acido	N = Neutro	Al = Alcalino		A = Alto

METODOLOGIA USADA	EXTRACTANTES
pH = Suelo: agua (1:2,5)	Olsen Modificado
N,P,B = Colorimetria	N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn
S = Turbidimetria	Fosfato de Calcio Monobásico
K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn = Absorción atómica	B,S

RESPONSABLE DFTO. SUELOS Y AGUAS

RESPONSABLE LABORATORIO

Tabla 12A. Análisis de la varianza altura a los 15 días

F. V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	62.30	7	8.90	2.30	0.0982
Bloques	12.31	3	4.10	1.06	0.4024
Tratamientos	49.99	4	12.50	3.23	0.0514
Error	46.47	12	3.87		
Total	108.77	19			

CV= 10.01

Tabla 13A. Análisis de la varianza altura a los 37 días

F. V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	137.75	7	19.68	1.95	0.1485
Bloques	74.59	3	24.86	2.46	0.1130
Tratamientos	63.16	4	15.79	1.56	0.2472
Error	121.37	12	10.11		
Total	259.12	19			

CV= 8.00

Tabla 14A. Análisis de la varianza altura a los 62 días

F. V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5181.40	7	740.20	1.59	0.2287
Bloques	3789.63	3	1263.21	2.72	0.0914
Tratamientos	1391.77	4	347.94	0.75	0.5779
Error	5581.46	12	465.12		
Total	10 762.86	19			

CV= 20.19

Tabla 15A. Análisis de la varianza hojas a los 15 días

F. V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11.35	7	1.62	6.58	0.0024
Bloques	3.87	3	1.29	5.23	0.0154
Tratamientos	7.48	4	1.87	7.58	0.0027
Error	2.96	12	0.25		
Total	14.31	19			

CV= 15.59

Tabla 16A. Análisis de la varianza hojas a los 37 días

F. V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	982.92	7	140.42	1.17	0.3873
Bloques	259.37	3	86.46	0.72	0.5594
Tratamientos	723.55	4	180.89	1.50	0.2620
Error	1442.32	12	120.19		
Total	2425.25	19			

CV= 24.60

Tabla 17A. Análisis de la varianza hojas a los 62 días

F. V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3228.44	7	461.21	1.27	0.3424
Bloques	2274.49	3	758.16	2.08	0.1559
Tratamientos	953.95	4	238.49	0.66	0.6343
Error	4366.45	12	363.87		
Total	7594.89	19			

CV= 18.68

Tabla 18A. Análisis de la varianza vainas a los 68 días

F. V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	209.40	7	29.91	3.78	0.0212
Bloques	123.41	3	41.14	5.20	0.0157
Tratamientos	85.99	4	21.50	2.72	0.0805
Error	94.97	12	7.91		
Total	304.37	19			

CV= 15.75

Tabla 19A. Análisis de la varianza vainas a los 75 días

F. V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	172.46	7	24.64	1.92	0.1527
Bloques	141.83	3	47.28	3.69	0.0432
Tratamientos	30.64	4	7.66	0.60	0.6713
Error	153.77	12	12.81		
Total	326.24	19			

CV= 18.44

Tabla 20A. Análisis de la varianza nódulos a los 118 días

F. V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2854.52	7	407.79	1.64	0.2154
Bloques	1429.82	3	476.61	1.92	0.1807
Tratamientos	1424.70	4	356.18	1.43	0.2825
Error	2983.66	12	248.64		
Total	5838.18	19			

CV= 57.22

Tabla 21A. Análisis de la varianza flores

F. V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	209.60	7	29.94	1.89	0.1594
Bloques	131.30	3	32.82	2.07	0.2314
Tratamientos	78.31	4	26.10	1.64	0.1483
Error	190.44	12	15.87		
Total	400.05	19			

CV= 20.14

Tabla 22A. Análisis de la varianza peso de semillas grupo 1

F. V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	38.75	7	5.54	1.66	0.2096
Bloques	18.00	3	6.00	1.80	0.2005
Tratamientos	20.75	4	5.19	1.56	0.2481
Error	39.97	12	3.33		
Total	78.71	19			

CV= 6.12

Tabla 23A. Análisis de la varianza peso de semillas grupo 2

F. V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	25.12	7	3.59	2.69	0.0636
Bloques	15.11	3	5.04	3.77	0.0406
Tratamientos	10.00	4	2.50	1.87	0.1798
Error	16.01	12	1.33		
Total	41.13	19			

CV= 4.27

Tabla 24A. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificado) en altura de planta.

Variable	n	Media	D.E	W*	p(unilateral)
AP 15	20	19.65	2.39	0.91	0.1957
AP 37	20	39.75	3.69	0.94	0.5198
AP 62	20	106.83	23.80	0.90	0.0812

*AP= Altura de planta a los 15, 37 y 62 días

*D.E= Desviación estándar

W= Estadístico de Shapiro-Wilks modificado

*P(unilateral)= p-valor.

Tabla 25A. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificado) en número de hojas.

Variable	n	Media	D.E	W*	p(unilateral)
NH 15	20	3.19	0.87	0.84	0.0040
NH 37	20	44.57	11.30	0.94	0.5390
NH 62	20	102.14	19.99	0.96	0.8144

*NH= Número de hojas a los 15, 37 y 62 días

*D.E= Desviación estándar

W= Estadístico de Shapiro-Wilks modificado

*P(unilateral)= p-valor.

Tabla 26A. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificado) en número de flores.

Variable	n	Media	D.E	W*	p(unilateral)
NF	20	19.79	4.59	0.86	0.0108

*NF= Número de flores

*D.E= Desviación estándar

W= Estadístico de Shapiro-Wilks modificado

*P(unilateral)= p-valor.

Tabla 27A. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificado) en número de vainas.

Variable	n	Media	D.E	W*	p(unilateral)
NV 68	20	17.86	4.00	0.91	0.1860
NV 75	20	19.41	4.14	0.89	0.0544

*NV= Número de vainas a los 68 y 75 días

*D.E= Desviación estándar

W= Estadístico de Shapiro-Wilks modificado

*P(unilateral)= p-valor.

Tabla 28A. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificado) en número de nódulos.

Variable	n	Media	D.E	W*	p(unilateral)
NN	20	27.56	17.53	0.73	<0.0001

*NN= Número de nódulos

*D.E= Desviación estándar

W= Estadístico de Shapiro-Wilks modificado

*P(unilateral)= p-valor.

Tabla 29A. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificado) en peso de semillas.

Variable	n	Media	D.E	W*	p(unilateral)
PS 68	20	29.84	2.04	0.84	0.0040
PS 75	20	27.03	1.47	0.94	0.5413

*PS= Peso de semillas a los 68 y 75 días

*D.E= Desviación estándar

W= Estadístico de Shapiro-Wilks modificado

*P(unilateral)= p-valor.