



Inoculantes microbianos comerciales con PGPR sobre variables productivas y económicas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)*

Commercial microbial inoculants with PGPR on productive and economic variables of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.)¹

Klever Granda-Mora¹, Cristina Correa-Ullauri¹, Yadira Collahuazo-Reinoso², Ángel Robles-Carrión¹

* Recepción: 1 de agosto, 2023. Aceptación: 18 de octubre, 2023. Este trabajo formó parte de la tesis titulada “Efecto de la aplicación de microorganismos benéficos sobre parámetros productivos y económicos del cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en el sector La Argelia, Loja, Ecuador” y del proyecto de Investigación “Bioproducto mixto con microorganismos benéficos para su aplicación en cultivos hortícolas” de la Universidad Nacional de Loja.

¹ Universidad Nacional de Loja, Carrera de Agronomía. Guillermo Falconí Espinosa “La Argelia”, Loja, Ecuador. klever.granda@unl.edu.ec (autor para la correspondencia; <https://orcid.org/0000-0001-5220-373X>); correacristina13@gmail.com (<https://orcid.org/0009-0004-9317-4372>); angel.robles@unl.edu.ec (<http://orcid.org/0000-0001-5609-3160>).

² Universidad Nacional de Loja, Centro de Biotecnología. Guillermo Falconí Espinosa “La Argelia”, Loja, Ecuador. yadira.collahuazo@unl.edu.ec (<https://orcid.org/0000-0002-6694-2426>).

Resumen

Introducción. En Ecuador, existen pocos estudios sobre la utilización de inoculantes microbianos para la producción sostenible del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). **Objetivo.** Evaluar el efecto de la inoculación con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en variables productivas y económicas de *P. vulgaris*. **Materiales y métodos.** La investigación se desarrolló en la Estación Experimental La Argelia, Loja, Ecuador, durante el periodo de febrero a julio de 2022. En un suelo de textura Franca, se empleó el cultivar de frijol común Mantequilla bajo un diseño en bloques completos al azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones de cada uno. Los tratamientos fueron: T1) control absoluto, T2) *Bacillus subtilis*, T3) *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae, T4) *Pseudomonas fluorescens* + *B. subtilis*, T5) *R. leguminosarum* bv. viciae + *B. subtilis*, T6) *R. leguminosarum* bv. viciae + *P. fluorescens* + *B. subtilis*, y T7) fertilización química. Se evaluó el efecto de los tratamientos sobre variables de crecimiento, desarrollo y componentes de rendimiento en el cultivar evaluado. Además, se realizó un análisis económico de la aplicación de los microorganismos benéficos frente a la fertilización química. **Resultados.** El tratamiento: *R. leguminosarum* bv. viciae + *P. fluorescens* + *B. subtilis* (T6) acertó las fases fenológicas (días), promovió un mayor número de nódulos, porcentaje de emergencia, altura de la planta, área foliar, número de vainas por planta, peso de 100 semillas, contenido de nitrógeno y rendimiento agrícola sin diferencias estadísticas ($p < 0,05$) con respecto a la fertilización química (T7). Mediante el análisis económico se estableció que el T6 generó mayores ingresos, y una mayor rentabilidad frente a la fertilización química. **Conclusión.** La inoculación con microorganismos benéficos afectó positivamente las variables productivas y económicas de frijol común y puede ser una alternativa válida al uso convencional de fertilizantes químicos.

Palabras clave: bacterias diazotróficas, fertilización química, análisis de costos.



Abstract

Introduction. In Ecuador, there are few studies on the use of microbial inoculants for the sustainable production common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Objective.** To evaluate the effect of inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on productive and economic variables of *P. vulgaris*. **Materials and methods.** The research was carried out at the La Argelia Experimental Station in Loja, Ecuador, from February to July 2022. Using loamy soil, the common bean cultivar “Mantequilla” was employed in a randomized complete block design with seven treatments and four replications each. The treatments were: T1) absolute control, T2) *Bacillus subtilis*, T3) *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae, T4) *Pseudomonas fluorescens* + *B. subtilis*, T5) *R. leguminosarum* bv. viciae + *B. subtilis*, T6) *R. leguminosarum* bv. viciae + *P. fluorescens* + *B. subtilis*, and T7) chemical fertilization. The effect of the treatments on growth, development, and yield components in the evaluated cultivar was assessed. Additionally, an economic analysis of the application of beneficial microorganisms versus chemical fertilization was conducted. **Results.** Treatment T6 (*R. leguminosarum* bv. viciae + *P. fluorescens* + *B. subtilis*) shortened the phenological phases (days), promoted a higher number of nodules, emergence percentage, plant height, leaf area, number of pods per plant, weight of 100 seeds, nitrogen content, and agricultural yield without statistical differences ($p < 0.05$) compared to chemical fertilization (T7). The economic analysis showed that T6 generated higher income and greater profitability compared to chemical fertilization. **Conclusion.** Inoculation with beneficial microorganisms positively affected the productive and economic variables of common beans and can be a valid alternative to the conventional use of chemical fertilizers.

Keywords: diazotrophic bacteria, chemical fertilization, cost analysis.

Introducción

La agricultura convencional moderna, y no ajena para el cultivo de fríjol común (*Phaseolus vulgaris* L.), se ha caracterizado por el uso intensivo de fertilizantes de síntesis química y pesticidas para aumentar su producción agrícola (Rojas-Badía et al., 2020). Además, ha generado residuos químicos en el suelo que producen salinización, problemas en el drenaje, compactación y disminución de la actividad microbiana que compromete a la nutrición vegetal (Nisar Pahalvi et al., 2021).

A nivel global, los biofertilizantes han provocado una disminución de los fertilizantes químicos, han incrementado los rendimientos de los cultivos, y representan un impacto positivo sobre el medio ambiente (Kaushal & Kukreja, 2020). El empleo de microorganismos con potencial de promover el crecimiento vegetal es una alternativa para aumentar la producción agrícola (González & Fuentes, 2017), ya que permiten dar valor agregado, aumentan hasta un 10 a 20 % la productividad de los cultivos y además mejoran la fertilidad del suelo (Rojas-Badía et al., 2020).

La coinoculación con rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés), en leguminosas, actualmente es una práctica común y de gran relevancia (Korir et al., 2017; Kaschuk et al., 2022). Estudios de la aplicación de *Pseudomonas* sp. con *Rhizobium leguminosarum* dan cuenta de efectos positivos en *Lens culinaris*, *Cajanus cajan* y *Phaseolus vulgaris*, en todos los casos las PGPR incrementaron el crecimiento de las plantas, mejoraron la absorción de nutrientes, aumentaron la nodulación y promovieron el rendimiento agrícola (Vieira Gabre et al., 2020).

Ante un escenario global cambiante, surge la necesidad de 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 sanos y que mejoren la fertilidad del suelo, minimicen la contaminación por efecto de los agroquímicos y beneficien al desarrollo económico, al disminuir los costos de producción al agricultor. La

presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de PGPR sobre variables productivas y económicas en el cultivo de fríjol común al sur del Ecuador.

Materiales y métodos

Sitios de estudio

La investigación se desarrolló en la Quinta Experimental “La Argelia” cantón y provincia de Loja, Ecuador (4°02'19,2" S; 79°12'00,6" W) a 2150 m s. n. m. con una precipitación anual de 1848 mm, temperatura media anual de 16 °C, y humedad relativa media de 78 % (Centro de Investigaciones Territoriales [CIT, 2022]), en el periodo comprendido de febrero a julio de 2022.

Material vegetal y diseño experimental

Se emplearon semillas de fríjol común del cultivar Mantequilla de hábito de crecimiento arbustivo determinado tipo I, procedente del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) de Ecuador. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar (DBCA) con 28 unidades experimentales, siete tratamientos con cuatro repeticiones. Se tuvo un tratamiento testigo sin fertilización (T1), como tratamientos experimentales, se utilizaron los microorganismos *R. leguminosarum* bv. *viciae* (Rizosur), *Bacillus subtilis* (G&M-Fertilizante microbiano) y *P. fluorescens* (Biogen), de acuerdo con las dosis detalladas en el Cuadro 1. El tratamiento con fertilización química (T7) se definió según el contenido previo de nutrientes en el suelo (Cuadro 2). La fertilización química se aplicó de manera edáfica y fraccionada en la etapa fenológica V3 y R5.

Cuadro 1. Tratamientos, productos y dosis de aplicación en el cultivo de *P. vulgaris*. Estación Experimental La Argelia, Loja, Ecuador. 2022.

Table 1. Treatments, products, and application doses in the crop of *P. vulgaris*. La Argelia Experimental Station, Loja, Ecuador. 2022.

Tratamientos	Descripción	Producto	Dosis de aplicación
T1	Control absoluto	Agua estéril	-
T2	<i>Bacillus subtilis</i>	G&M-Fertilizante microbiano	20 mL / 1000 g de semilla
T3	<i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>Viciae</i>	Rizosur	0,02 kg / 1000 g de semilla
T4	<i>Pseudomonas fluorescens</i> + <i>Bacillus subtilis</i>	Biogen + G&M-Fertilizante microbiano	20 mL + 20 mL / 1000 g de semilla
T5	<i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i> + <i>Bacillus subtilis</i>	Rizosur + G&M-Fertilizante microbiano	0,02 kg + 20 mL / 1000 g de semilla
T6	<i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i> + <i>Pseudomonas fluorescens</i> + <i>Bacillus subtilis</i>	Rizosur + Biogen + G&M-Fertilizante microbiano	0,02 kg + 20 mL + 20 mL / 1000g de semilla
T7	Fertilización química	Urea DAP Cloruro de K SO ₄ Mg	136 kg/ha 230 kg/ha 179 kg/ha 204 kg/ha

Cuadro 2. Análisis químico del suelo en el sitio de experimentación. Estación Experimental La Argelia, Loja, Ecuador. 2022.

Table 2. Chemical analysis of the soil at the experimental site. La Argelia Experimental Station, Loja, Ecuador. 2022.

Parámetro analizado	Unidad	Resultado	Interpretación
pH a 25 °C	-	5,96	Ligeramente ácido
Materia orgánica	%	1,77	Medio
Nitrógeno	%	0,09	Bajo
Fósforo	mg/kg	16,3	Bajo
Potasio	cmol/kg	0,10	Medio
Calcio	cmol/kg	3,81	Bajo
Magnesio	cmol/kg	0,28	Alto
Hierro	mg/kg	205,10	Bajo
Manganeso	mg/kg	13,17	Alto
Cobre	mg/kg	2,68	Medio
Zinc	mg/kg	1,60	Medio
Capacidad de intercambio catiónico	cmol/kg	11,54	Bajo
Textura	-	Franca	-
Densidad aparente	g cm ⁻³	1,33	Buena

Fuente: / Source: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2022).

Delimitación del área y preparación del suelo

Para la preparación del suelo, se utilizó un tractor mecánico. Se realizaron dos pases para el arado, cruza y surcado en un suelo de textura franca (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP, 2022]). Cada parcela tuvo un área de 7,8 m² y 0,5 m entre parcelas con una densidad de 55 555 plantas/ha. Previo a la siembra, se realizó la colecta de cinco muestras de suelo de forma aleatoria simple a una profundidad de 0,20 m, luego se homogenizaron las muestras de suelo para obtener una muestra total de 500 g para el análisis físico y químico correspondiente (INIAP, 2022) (Cuadro 2). La siembra fue manual en un suelo de rotación con maíz (*Zea mays*), acorde con la época de siembra. Se aplicó riego por gravedad cuando fue necesario para evitar el estrés en las plantas. Se realizaron dos deshierbes manuales a los 20 y 35 días después de la siembra. Las plagas como *Empoasca kraemeri* Ross y Moore se controlaron con el insecticida a base de Dimetoato 40% p/v en una dosis de 0,6 L ha⁻¹ y enfermedades como roya [*Uromyces phaseoli* (Reben) Wint.] y mancha angular [*Phaeoisariopsis griseola* (Sacc.) Ferraris] se controlaron con fungicidas de amplio espectro Benomil y Bitertanol en una dosis de 250 g ha⁻¹. La cosecha fue manual.

Inoculación

La inoculación de *R. leguminosarum* bv. *viciae* (Rizosur 1x10⁸ CFU/mL), se realizó mediante peletización con la semilla de fríjol bajo condiciones de sombra, en un recipiente plástico se mezcló la cantidad de agua necesaria y en este se depositó 0,02 kg del producto por 1 kg de semilla, se homogenizaron todos los componentes, la mezcla se reposó por dos horas, y de inmediato se realizó la siembra (Granda-Mora et al., 2017). En el caso de *P. fluorescens* (Biogen 1x10⁸ CFU/mL) y *B. subtilis* (G&M-Fertilizante microbiano 1x10⁸ CFU/mL) (T2), se aplicaron

por separado mediante la inmersión de la semilla a razón de 20 mL de inoculante líquido por 1000 g de semilla, respectivamente, en ambos casos se aplicó la dosis recomendada por el fabricante. Para las interacciones dobles y triples de los inoculantes, se realizó una combinación de los productos antes mencionados por cada 1000 g de semilla. Con los resultados del análisis de suelo (Cuadro 2, tratamiento químico), se realizó un plan de fertilización para el cultivo de fríjol var. Mantequilla (Cuadro 1) y se aplicó de manera edáfica y fraccionada en las etapas fenológicas V3 y R5.

Variables fenológicas del cultivo

En todos los casos, se evaluaron 10 plantas al azar por cada unidad experimental dentro del área útil en cada parcela. Se tomó en cuenta los días a emergencia (V1), floración (R6), llenado de vainas (R8) y Senescencia (R10).

Parámetros de nodulación

Se contabilizó el número de nódulos por planta en la etapa fenológica V3 y R5.

Parámetros de crecimiento

En la etapa fenológica V2, V4 y R5 se tomaron cinco plantas al azar de cada una de las réplicas de los siete tratamientos y se evaluaron las siguientes variables.

Altura de la planta (cm): se utilizó un flexómetro para medir la longitud del tallo principal, desde el nivel del suelo hasta el punto apical de las plantas.

Diámetro de tallo (mm): con un calibrador vernier digital se midió el diámetro de los tallos por debajo de las hojas unifoliadas.

En la etapa R6 en 10 plantas al azar por cada unidad experimental, todos los folíolos de la planta se midieron con un flexómetro el largo y ancho y por medio de fotografía y mediante el software Image J se cuantificó el área de cada folíolo y con el dato de la ecuación 1 obtenida, se determinó el área foliar de toda la planta (cm²).

$$\text{Área foliar: } -0,3539X^2 + 10,455X - 23,486 \quad (1)$$

En la etapa R8 por cada réplica y tratamiento se determinó la longitud de cada vaina (cm). Con la ayuda de un flexómetro, se midió la vaina desde la base hasta el ápice.

Componentes de rendimiento

Los componentes de rendimiento se evaluaron con base en los parámetros descritos por Mazariegos Cifuentes (2020).

Número de vainas por planta: se realizó al momento de la cosecha, con un muestreo significativo de la parcela neta y se registraron diez matas de fríjol, se contabilizaron el total de plantas y la cantidad de vainas producidas por cada una, luego se hizo la sumatoria de vainas y se promedió dentro del total de plantas contadas.

Número de granos por vaina: con el fin conocer el rendimiento de los tratamientos evaluados. Se tomó como muestreo treinta vainas por cada tratamiento, se sumaron los granos totales y se hizo el respectivo promedio.

Peso de 100 semillas: se procedió a pesar 100 semillas de cada uno de los tratamientos evaluados, esto se realizó con la ayuda de una balanza analítica, este es un indicador importante en el rendimiento de los tratamientos.

Contenido de nitrógeno

El contenido de N fijado (%) de la parte aérea (tallos y hojas) de las plantas de fríjol se determinó a través del método de Kjeldahl (Goyal et al., 2022).

Rendimiento agrícola

Al final del ciclo del cultivo se determinó el rendimiento agrícola en cada unidad experimental y tratamiento, para el efecto se estimó mediante la ecuación 2 propuesta por Cantaro-Segura et al. (2019).

$$\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Peso semillas por unidad experimental}}{\text{N}^{\circ} \text{ de plantas cosechadas}} * \text{N}^{\circ} \text{ plantas/ha} \quad (2)$$

Evaluación económica

El análisis de rentabilidad económica se calculó con base en la relación beneficio/costo para cada uno de los tratamientos, y los beneficios obtenidos con los gastos generados durante el proceso de producción, para ello se utilizó la ecuación 3 y 4 (Villegas Aparicio et al., 2009).

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Beneficio neto}}{\text{Costo de producción}} * 100 \quad (3)$$

$$\text{Beneficio neto} = \text{Ingreso total} - \text{Costo de producción} \quad (4)$$

Análisis estadístico

Los datos fueron procesados mediante el programa estadístico Infostat versión libre. Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) previa comprobación de la normalidad y homogeneidad de varianzas. La comparación entre las medias se realizó por la prueba de Tukey HSD ($p \leq 0,05$).

Resultados

La inoculación con los microorganismos benéficos en fríjol común var. Mantequilla presentó un efecto significativo ($p < 0,05$) en las variables fenológicas evaluadas (Cuadro 3). El número de días a la emergencia disminuyeron donde se inocularon *R. leguminosarum* bv. viciae (T3); *R. leguminosarum* bv. viciae + *B. subtilis* (T5) y *R. leguminosarum* bv. viciae + *P. fluorescens* + *B. subtilis* (T6). Mientras que, los días a floración, llenado de vainas y senescencia tuvieron un efecto significativo donde se inoculó *R. leguminosarum* bv. viciae + *P. fluorescens* + *B. subtilis* (T6) y fertilización química (T7), en todos los casos el control absoluto (testigo) demostró mayor tiempo (días) hasta la floración.

Cuadro 3. Tiempo de emergencia, días a floración, llenado de vainas y senescencia en plantas de fríjol común (*Phaseolus vulgaris* var. Mantequilla) según tratamientos evaluados. Estación Experimental La Argelia, Loja, Ecuador. 2022.

Table 3. Time of emergence, days to flowering, physiological maturity and harvest, pod filling and senescence in common bean plants (*Phaseolus vulgaris* var. Mantequilla) according to evaluated treatments. La Argelia Experimental Station, Loja, Ecuador. 2022.

Tratamientos	Número de días			
	Emergencia	Floración	Llenado de vainas	Senescencia
T1	11,75 ^c	51,50 ^c	88,50 ^c	112,00 ^d
T2	10,75 ^{bc}	49,25 ^b	84,75 ^b	106,50 ^c
T3	8,75 ^a	48,75 ^b	84,00 ^{ab}	104,00 ^{abc}
T4	10,50 ^b	49,25 ^b	85,00 ^b	106,50 ^c
T5	8,75 ^a	48,50 ^{ab}	83,25 ^{ab}	105,00 ^{bc}
T6	8,25 ^a	46,75 ^a	82,00 ^a	101,00 ^a
T7	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 ($p < 0,05$). Tratamientos: T1 (control). T2 (*B. subtilis*). T3 (*R. leguminosarum* bv. *viciae*). T4 (*P. fluorescens* + *B. subtilis*). T5 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *B. subtilis*). T6 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis*). T7 (fertilización química). E $\bar{X}$ ± Error estándar de la media. Significancia: ns no significativo ($p > 0,05$), *significativo ($p < 0,05$), **altamente significativo ($p < 0,01$). / Different letters in the same column are statistically different by Tukey's test ($p < 0.05$). Treatments: T1 (Control). T2 (*B. subtilis*). T3 (*R. leguminosarum* bv. *viciae*). T4 (*P. fluorescens* + *B. subtilis*). T5 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *B. subtilis*). T6 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis*). T7 (Chemical fertilization). E $\bar{X}$ ± Standard error of the mean. Significance: ns not significant ($p > 0.05$), *significant ($p < 0.05$), **highly significant ($p < 0.01$).

La presencia de nódulos fue positiva en las plantas de fríjol evaluadas en las etapas fenológicas V3 y R5 (Cuadro 4). Se evidenciaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para el número de nódulos donde se aplicaron *R. leguminosarum* bv. *viciae* (T3); *R. leguminosarum* bv. *viciae* + *B. subtilis* (T5) y *R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis* (T6) con respecto a los tratamientos 1, 2 y 4. Se obtuvieron como promedio 45 nódulos en las raíces de cada planta inoculada, con una coloración rojiza en su interior donde se aplicó las cepas de *Rhizobium*.

El porcentaje de germinación de las semillas de fríjol var. Mantequilla y la emergencia de las plantas resultó significativa ($p < 0,05$) con la inoculación de microorganismos benéficos (Cuadro 5). A los 30 y 45 días de la aplicación de *R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis* (T6) y la fertilización química, favorecieron el crecimiento de las plantas, en ambos casos las mismas presentaron mayor altura. El diámetro del tallo no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos etapa V2 y V4, sin embargo, en la etapa R5 la fertilización química influyó en mayor diámetro de las plantas, pero no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) con la aplicación de los microorganismos benéficos, donde el tratamiento control absoluto el que presentó el menor diámetro del tallo. El tratamiento que estimuló un mayor desarrollo del área foliar en las plantas de fríjol fueron las plantas tratadas a base de *R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis*. En todos los casos el T6 ejerció una significativa diferencia ($p < 0,05$) con el tratamiento fertilización química y el control. Mientras que, en la variable longitud de vainas no se evidenció diferencias significativas ($p > 0,05$) en ninguno de los tratamientos aplicados.

Cuadro 4. Parámetros de nodulación según etapa fenológica V3 y R5 en el cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* var. Mantequilla) según tratamientos evaluados. Estación Experimental La Argelia, Loja, Ecuador. 2022.

Table 4. Nodulation parameters according to phenological stage V3 and R5 in the common bean crop (*Phaseolus vulgaris* var. Mantequilla) according to evaluated treatments. La Argelia Experimental Station, Loja, Ecuador. 2022.

Tratamientos	Número de nódulos/planta	
	V3	R5
T1	21,10 ^c	30,20 ^b
T2	29,95 ^b	39,80 ^b
T3	39,55 ^a	56,20 ^a
T4	28,60 ^{bc}	40,25 ^b
T5	39,65 ^a	58,10 ^a
T6	40,40 ^a	59,05 ^a
T7	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 ($p < 0,05$). Tratamientos: T1 (control). T2 (*B. subtilis*). T3 (*R. leguminosarum* bv. *viciae*). T4 (*P. fluorescens* + *B. subtilis*). T5 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *B. subtilis*). T6 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis*). T7 (fertilización química). E $\bar{x}$ ± Error estándar de la media. Significancia: ns no significativo ($p > 0,05$), *significativo ($p < 0,05$), **altamente significativo ($p < 0,01$). / Different letters in the same column are statistically different by Tukey's test ($p < 0,05$). Treatments: T1 (Control). T2 (*B. subtilis*). T3 (*R. leguminosarum* bv. *viciae*). T4 (*P. fluorescens* + *B. subtilis*). T5 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *B. subtilis*). T6 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis*). T7 (Chemical fertilization). E $\bar{x}$ ± Standard error of the mean. Significance: ns not significant ($p > 0,05$), *significant ($p < 0,05$), **highly significant ($p < 0,01$).

Cuadro 5. Porcentaje de germinación, altura, diámetro, área foliar y longitud de vainas en diferentes etapas fenológicas de evaluación (V2, V4 y R5) en plantas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* var. Mantequilla) según tratamientos evaluados. Estación Experimental La Argelia, Loja, Ecuador. 2022.

Table 5. Percentage of germination, height, diameter, leaf area and pod length at different phenological stages of evaluation (V2, V4 and R5) in common bean plants (*Phaseolus vulgaris* var. Mantequilla) according to evaluated treatments. La Argelia Experimental Station, Loja, Ecuador. 2022.

Tratamientos	Porcentaje de germinación (%)	Altura de la planta (cm)			Diámetro del tallo (mm)			Área foliar (cm ²)	Longitud de vainas (cm)
		V2	V4	R5	V2	V4	R5		
T1	78,50 ^b	5,62 ^c	8,84 ^c	15,75 ^c	2,60	4,19	5,42 ^b	1915,23 ^d	10,35
T2	88,00 ^a	6,01 ^{bc}	9,54 ^{bc}	17,20 ^c	2,67	4,31	5,55 ^{ab}	2165,63 ^{bcd}	10,71
T3	92,00 ^a	6,35 ^{ab}	10,40 ^{ab}	17,50 ^{bc}	2,69	4,32	5,53 ^{ab}	2480,94 ^{abc}	10,51
T4	87,50 ^a	5,89 ^{bc}	9,15 ^c	16,74 ^c	2,71	4,37	5,53 ^{ab}	2007,73 ^{cd}	10,69
T5	90,50 ^a	6,29 ^{ab}	10,15 ^{ab}	17,55 ^{bc}	2,70	4,43	5,54 ^{ab}	2573,75 ^{ab}	10,47
T6	92,00 ^a	6,71 ^a	10,64 ^a	19,45 ^{ab}	2,82	4,48	5,61 ^{ab}	2811,42 ^a	10,53
T7	78,25 ^b	5,65 ^c	10,75 ^a	19,66 ^a	2,65	4,39	5,74 ^a	1898,67 ^d	10,91
E $\bar{x}$ =	1,74	0,15	0,22	0,47	0,07	0,09	0,08	117,68	0,18
Significancia	**	**	**	**	ns	ns	**	**	ns

Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes mediante prueba de Tukey ($p < 0,05$). Tratamientos: T1 (control). T2 (*B. subtilis*). T3 (*R. leguminosarum* bv. *viciae*). T4 (*P. fluorescens* + *B. subtilis*). T5 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *B. subtilis*). T6 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis*). T7 (fertilización química). E $\bar{x}$ ± Error estándar de la media. Significancia: ns no significativo ($p > 0,05$), *significativo ($p < 0,05$), **altamente significativo ($p < 0,01$). / Different letters in the same column are statistically different by Tukey's test ($p < 0,05$). Treatments: T1 (control). T2 (*B. subtilis*). T3 (*R. leguminosarum* bv. *viciae*). T4 (*P. fluorescens* + *B. subtilis*). T5 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *B. subtilis*). T6 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis*). T7 (Chemical fertilization). E $\bar{x}$ ± Standard error of the mean. Significance: ns not significant ($p > 0,05$), *significant ($p < 0,05$), **highly significant ($p < 0,01$).

Los tratamientos aplicados no generaron diferencias significativas en los componentes de rendimiento de fríjol var. Mantequilla (Cuadro 6). No obstante, la inoculación de *R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis* (T6) alcanzó los valores más altos, mientras que en el peso de 100 semillas el tratamiento control presentó los valores más bajos.

Cuadro 6. Componentes de rendimiento en el cultivo de fríjol común (*Phaseolus vulgaris* var. Mantequilla) según tratamientos evaluados. Estación Experimental La Argelia, Loja, Ecuador. 2022.

Table 6. Yield components in the common bean (*Phaseolus vulgaris* var. Mantequilla) crop according to evaluated treatments. La Argelia Experimental Station, Loja, Ecuador. 2022.

Tratamientos	Número de vainas por planta	Número de granos por vaina	Peso de 100 semillas
T1	21,25 ^b	4,16	55,50 ^b
T2	23,75 ^{ab}	4,14	64,75 ^a
T3	22,73 ^{ab}	4,33	64,25 ^a
T4	23,43 ^{ab}	4,15	64,50 ^a
T5	23,15 ^{ab}	4,25	68,25 ^a
T6	27,50 ^a	4,35	70,25 ^a
T7	23,25 ^{ab}	4,41	68,50 ^a
E $\bar{X}$ =	1,46	0,07	1,30
Significancia	**	ns	**

Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes mediante prueba de Tukey ($p < 0.05$). Tratamientos: T1 (control). T2 (*B. subtilis*). T3 (*R. leguminosarum* bv. *Viciae*). T4 (*P. fluorescens* + *B. subtilis*). T5 (*R. leguminosarum* bv. *Viciae* + *B. subtilis*). T6 (*R. leguminosarum* bv. *Viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis*). T7 (fertilización química). E $\bar{X}$ ± Error estándar de la media. Significancia: ns no significativo ($p > 0.05$), *significativo ($p < 0.05$), **altamente significativo ($p < 0.01$). / Different letters in the same column are statistically different by Tukey's test ($p < 0.05$). Treatments: T1 (control). T2 (*B. subtilis*). T3 (*R. leguminosarum* bv. *viciae*). T4 (*P. fluorescens* + *B. subtilis*). T5 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *B. subtilis*). T6 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis*). T7 (Chemical fertilization). E $\bar{X}$ ± Standard error of the mean. Significance: ns not significant ($p > 0.05$), *significant ($p < 0.05$), **highly significant ($p < 0.01$).

La inoculación con *R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis* (T6) y *R. leguminosarum* bv. *viciae* (T3) incrementaron significativamente ($p < 0.05$) los contenidos de N en las plantas de fríjol con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 7), el aumento de N fue en el orden del 67 % y 31 %, respectivamente. Valores similares al T3 se evidenció donde se aplicó la fertilización química.

En el efecto de cepas bacterianas sobre el rendimiento en grano seco, se destaca la inoculación con la cepa *R. leguminosarum* bv. *viciae* para el cultivar Mantequilla para producir 1,20 t ha⁻¹. Además, no se evidenciaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos T3, T5 y el tratamiento con fertilización química. En todos los casos evaluados, el cv. Mantequilla respondió de forma favorable a la inoculación con las cepas de *Rhizobium* con respecto al tratamiento control, con resultados superiores y similares a cuando se utilizó la fertilización química (Cuadro 8).

El análisis de ingresos y rentabilidad mostró que, los mayores valores debido a las ventas se obtuvieron con la aplicación del T6, el cual generó un total de 2722.4 USD, mientras que con la aplicación del fertilizante químico se ingresó un 4 % menos (Cuadro 9). El ingreso neto mediante las ventas se vio favorecida con la aplicación del T6 y tuvo una diferencia de 1051 USD en comparación con la aplicación del fertilizante químico, esto probablemente por el incremento de los costos de producción (2320.10 USD) que tuvo la agricultura convencional (fertilización química) frente a la aplicación combinada de microorganismos benéficos (1382,70 USD). Como se evidencia (Cuadro 9), en todos los casos se obtienen ganancias; sin embargo, el tratamiento T6 es el más rentable con relación a la fertilización química.

Cuadro 7. Contenido de nitrógeno total fijado en fríjol común (*Phaseolus vulgaris* var. Mantequilla) según tratamientos evaluados. Estación Experimental La Argelia, Loja, Ecuador. 2022.

Table 7. Total nitrogen content fixed in common bean (*Phaseolus vulgaris* var. Mantequilla) according to evaluated treatments. La Argelia Experimental Station, Loja, Ecuador. 2022.

Tratamiento	% N Total		Diferencia de % N fijado con relación al control absoluto
	Base fresca	Base seca	
T1	0,59	2,56	---
T2	0,53	2,21	-0,35
T3	0,65	2,87	0,31
T4	0,62	2,67	0,11
T5	0,56	2,83	0,27
T6	0,74	3,25	0,67
T7	0,51	2,87	0,31

Tratamientos: T1 (Control). T2 (*B. subtilis*). T3 (*R. leguminosarum* bv. *Viciae*). T4 (*P. fluorescens* + *B. subtilis*). T5 (*R. leguminosarum* bv. *Viciae* + *B. subtilis*). T6 (*R. leguminosarum* bv. *Viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis*). T7 (fertilización química). $E\bar{x} \pm$ Error estándar de la media. Significancia: ns no significativo ($p > 0,05$), *significativo ($p < 0,05$), **altamente significativo ($p < 0,01$). / Treatments: T1 (Control). T2 (*B. subtilis*). T3 (*R. leguminosarum* bv. *viciae*). T4 (*P. fluorescens* + *B. subtilis*). T5 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *B. subtilis*). T6 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis*). T7 (Chemical fertilization). $E\bar{x} \pm$ Standard error of the mean.

Cuadro 8. Rendimiento agrícola en el cultivo de fríjol común (*Phaseolus vulgaris* var. Mantequilla) según tratamientos evaluados. Estación Experimental La Argelia, Loja, Ecuador. 2022.

Table 8. Agricultural yield in the common beans crop (*Phaseolus vulgaris* var. Mantequilla) according to evaluated treatments. La Argelia Experimental Station, Loja, Ecuador. 2022.

Tratamientos	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
T1	607,11 ^c
T2	873,11 ^{bc}
T3	797,06 ^c
T4	877,37 ^{bc}
T5	854,62 ^{bc}
T6	1 237,47 ^a
T7	1185,54 ^{ab}
$E\bar{x} =$	70,95
Significancia	**

Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes mediante prueba de Tukey ($p < 0,05$). Tratamientos: T1 (control). T2 (*B. subtilis*). T3 (*R. leguminosarum* bv. *viciae*). T4 (*P. fluorescens* + *B. subtilis*). T5 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *B. subtilis*). T6 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis*). T7 (fertilización química). $E\bar{x} \pm$ Error estándar de la media. Significancia: ns no significativo ($p > 0,05$), *significativo ($p < 0,05$), **altamente significativo ($p < 0,01$). / Different letters in the same column are statistically different by Tukey's test ($p < 0,05$). Treatments: T1 (Control). T2 (*B. subtilis*). T3 (*R. leguminosarum* bv. *viciae*). T4 (*P. fluorescens* + *B. subtilis*). T5 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *B. subtilis*). T6 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis*). T7 (Chemical fertilization). $E\bar{x} \pm$ Standard error of the mean. Significance: ns not significant ($p > 0,05$), *significant ($p < 0,05$), **highly significant ($p < 0,01$).

Cuadro 9. Análisis económico entre la aplicación de microorganismos benéficos con respecto a la fertilización química en el cultivo de fríjol común (*Phaseolus vulgaris* var. Mantequilla) según tratamientos evaluados. Estación Experimental La Argelia, Loja, Ecuador. 2022.

Table 9. Economic analysis between the application of beneficial microorganisms with respect to chemical fertilization in the common beans crop (*Phaseolus vulgaris* var. Mantequilla) according to evaluated treatments. La Argelia Experimental Station, Loja, Ecuador. 2022.

Tratamiento	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Ingreso total (USD)	Costo de producción (USD)	Ingreso neto (USD)	Rentabilidad (%)
T2	873,1	1920,8	1348,0	572,8	42,5
T3	797,1	1753,5	1349,1	404,5	30,0
T4	877,4	1930,2	1364,8	565,4	41,4
T5	854,6	1880,2	1365,9	514,3	37,7
T6	1237,5	2722,4	1382,7	1339,8	96,9
T7	1185,5	2608,2	2320,1	288,1	12,4

Tratamientos: T1 (control). T2 (*B. subtilis*). T3 (*R. leguminosarum* bv. *Viciae*). T4 (*P. fluorescens* + *B. subtilis*). T5 (*R. leguminosarum* bv. *Viciae* + *B. subtilis*). T6 (*R. leguminosarum* bv. *Viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis*). T7 (fertilización química). / Treatments: T1 (Control). T2 (*B. subtilis*). T3 (*R. leguminosarum* bv. *viciae*). T4 (*P. fluorescens* + *B. subtilis*). T5 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *B. subtilis*). T6 (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis*). T7 (Chemical fertilization).

Discusión

Varios trabajos a nivel global dan cuenta que las interacciones de microorganismos rizosféricos influyen directamente en los componentes de crecimiento de *P. vulgaris*, probablemente las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) proporcionan el nitrógeno y otros elementos minerales necesarios para el desarrollo vegetativo, la floración y formación de vainas (Rodríguez-Sahagún et al., 2020), además, las BPCV ejercen un efecto directo en el aumento de la velocidad y porcentaje de germinación de semillas de fríjol (Moreno Reséndez et al., 2018) posiblemente las BPCV generan un efecto hormonal, similar al del ácido giberélico, que aumentan el vigor y crecimiento del tallo y raíces, desde la germinación hasta la emergencia (Morochó & Leiva-Mora, 2019).

El éxito de la nodulación en las plantas de *P. vulgaris* indicó una interacción beneficiosa de la bacteria con la leguminosa, lo cual coincide con estudios realizados por Colás-Sánchez et al. (2018), en donde semillas inoculadas con *R. pisi* (40983 y 40982) a los 42 días después de la siembra, presentaron mayores incrementos en el número de nódulos, con respecto al control. Resultados similares se obtuvieron al comparar la inoculación de *Rhizobium* con la fertilización química, en la cual la aplicación de un inoculante a base de *Rhizobium* indujo a la formación de mayores nódulos en relación con las plantas tratadas con fertilizante químico de fórmula completa (12-6-16-3) (Cabrera Romero et al., 2017). La fertilización nitrogenada de 100 kg ha⁻¹ N tiene un efecto supresor sobre la nodulación, pero aun así hay presencia de nódulos y no se limita por completo (Cantaro-Segura et al., 2019).

Las semillas inoculadas con *R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis* dieron los mejores resultados, con un porcentaje de germinación del 92 %. De manera similar, de Souza et al. (2016), demostraron que el porcentaje de germinación, la longitud y el peso seco de las plantas de *P. vulgaris* se vieron significativamente afectadas con la inoculación de *Rhizobium*, con una tasa de germinación alta de 90,01 % y la más baja (78 %) en las plantas no inoculadas. Las bacterias del género *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, que favorecieron positivamente en este propósito (González & Fuentes, 2017).

Las PGPR actúan en los tejidos de las plantas, y facilitan el crecimiento y su desarrollo, esto se debe a que contribuyen con la fijación de nitrógeno en el suelo, activan la presencia de minerales de forma orgánica y promueven en las plantas la capacidad de solubilización de elementos no disponibles (Torres Pérez et al., 2022). Romero-García et al. (2016), informaron el efecto positivo de la inoculación de PGPR en el cultivo de fríjol, en estado de plántulas y en la floración observaron un incremento significativo en la altura de las plantas al aplicar *R. etli* y *B. cereus*. Datos que concuerdan con el T5 (*Rhizobium* y *Bacillus*) conseguidos en la investigación.

El diámetro del tallo, y la longitud de vainas no se vieron incrementadas en las plantas de fríjol var. Mantequilla. Trabajos similares de Ruiz-Santiago et al. (2020), al evaluar el diámetro del tallo de fríjol a los 15, 30, 45 y 60 días, no evidenciaron diferencias significativas entre plantas inoculadas y no inoculadas a base de *R. etli*. No obstante, las BPCV ejercen mecanismos en los cuales aprovechan directamente el nitrógeno del aire, y originan compuestos absorbibles y lo suministran a la planta, además, sintetizan diferentes fitohormonas como citosinas y auxinas, las cuales son responsables de que las células del cambium se dividan y multipliquen con rapidez, lo que genera un mayor diámetro del tallo en las plantas (González & Fuentes, 2017). Según Gutiérrez Gavonel (2016) la longitud de vaina es una característica propia del cultivar (alta heredabilidad) aunque también influenciada por el ambiente.

En estudios similares destacaron el efecto de la co-inoculación de *R. leguminosarum*, *P. putida*, *P. lurida*, sus interacciones y el tratamiento control, mientras que, la inoculación doble/triple mejoró el rendimiento de grano en comparación con la inoculación simple, sin embargo, no evidenciaron diferencias significativas (Kumar Mishra et al., 2014). La aplicación de *Rhizobium* y micorrizas en el cultivo de fríjol negro permite optimizar el proceso de fijación del nitrógeno atmosférico, la absorción de elementos nutritivos, estimular el desarrollo vegetal y aumentar el potencial productivo de las plantas (Liriano González et al., 2012).

Bajo condiciones de invernadero la combinación de BPCV con *Rhizobium* incrementó el contenido de nitrógeno, en comparación con la aplicación individual de *Rhizobium* (Stajković et al., 2011). La nodulación efectiva probada en las raíces de fríjol Mantequilla correspondió de manera positiva para que se fijen cantidades de N apropiadas (Tri Wahyudi et al., 2011). Valores similares se obtuvieron con respecto al rendimiento, destacándose la inoculación con *R. leguminosarum* bv. *Viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis* y la fertilización química.

Diversos estudios realizados para evaluar el aumento en rendimiento promovido por los microorganismos benéficos, cuando se evaluó la acción de biofertilizantes, hubo un incremento positivo en el rendimiento agrícola con la inoculación de las especies de *Rhizobium* en comparación con el control (Colás-Sánchez et al., 2018), lo que sugiere que las PGPR pueden ser usadas como estimulantes del rendimiento agrícola bajo condiciones similares a las del estudio y sobre todo en una agricultura sostenible. Cuando se evaluó el efecto en campo de la cepa nativa COL6 de *R. leguminosarum* bv. *viciae* se obtuvieron resultados similares a la investigación, el rendimiento estimado fue significativamente mayor con respecto a los demás tratamientos y similar a la fertilización química, al aplicar el inoculante bacteriano obtuvieron 1,77 t ha⁻¹ (Granda-Mora et al., 2017).

Del análisis económico, en todos los casos se obtienen ganancias; sin embargo, el tratamiento T6 fue el más rentable con un 2,86 % más de ingresos en relación con la fertilización química. Trabajos similares llevados a cabo por Flores et al. (1999) mediante la aplicación de un inoculante biológico a base *Rhizobium* en fríjol en tres localidades distintas, el bioproducto presentó el mayor beneficio neto y una tasa de retorno marginal del 388 %. La aplicación de micorrizas en fríjol también mejoró la tasa de retorno marginal para el productor frente a la fertilización química (Espinoza Arellano et al., 2014). También se reportó que la coinoculación de *Rhizobium* y *Azospirillum* es una tecnología eficiente para reemplazar los fertilizantes a base de N, ahorra gastos y previene riesgos ambientales (de Souza & de Brito Ferreira, 2017). Estos resultados demuestran que el uso de los microorganismos benéficos resultan efectivos desde el punto de vista económico. Los resultados de la presente investigación apoyan el criterio que las PGPR permiten el incremento agrícola de fríjol común con el consiguiente efecto de la reducción de fertilizantes químicos.

Conclusiones

La inoculación del consorcio (*R. leguminosarum* bv. *viciae* + *P. fluorescens* + *B. subtilis*) en plantas de *P. vulgaris* var. Mantequilla incrementó el contenido total de nitrógeno en la parte aérea de las plantas, el crecimiento y rendimiento, y generó un mayor beneficio neto y rentabilidad. El rendimiento agrícola aumentó un 4,2 % con relación al fertilizante químico. El uso de PGPR constituyen una alternativa viable para reducir costos de producción en fríjol común y el impacto ambiental asociado a la fertilización sintética nitrogenada.

Referencias

- Cabrera Romero, Y. L., Santana Baños, Y., & Miranda Izquierdo, E. (2017). Efecto de la inoculación de *Rhizobium* sobre el crecimiento de *Phaseolus vulgaris* (frijol) en condiciones semicontroladas. *Avances*, 19(1), 66–74. <https://www.gecpr.cu/index.php/publicaciones/article/view/226>
- Cantaro-Segura, H., Huaranga-Joaquín, A., & Zúñiga-Dávil, 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. <https://revistas.uta.cl/pdf/374/6.pdf>
- Centro de Investigaciones Territoriales. (2022). *Boletín Metereológico*. <https://unl.edu.ec/node/3294>
- Colás-Sánchez, A., Díaz-Pérez, B., Rodríguez-Urrutia, A., Gatorno-Muñoz, S., & 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. http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V45-Numero_4/cag05418.pdf
- de Souza, E. M., Bassani, V. L., Sperotto, R. A., & Granada, C. E. (2016). Inoculation of new rhizobial isolates improve nutrient uptake and growth of bean (*Phaseolus vulgaris*) and arugula (*Eruca sativa*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(10), 3446–3453. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7527>
- de Souza, J. E. B., & de Brito Ferreira, E. P. (2017). Improving sustainability of common bean production systems by co-inoculating rhizobia and azospirilla. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 237, 250–257. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.040>
- Espinoza Arellano, J. D. J., Ravelero, A. P., Triana Gutiérrez, M., Ruiz Torres, J., & Gaytán Mascorro, A. (2014). Evaluación económica de la utilización de biofertilizantes en parcelas de productores de frijol de temporal en el estado de Durango, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 35, 934–945.
- Flores, G., Hernández, J. C., Acosta, M., & Montero, M. (1999). Análisis económico de la utilización de inoculante biológico (*Rhizobium* sp.) en frijol común, en la Región Brunca, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 10(2), 37–41. <https://doi.org/10.15517/am.v10i2.17934>
- González, H., & Fuentes, N. (2017). Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 17–31. <https://doi.org/10.22267/rcia.173401.60>
- Goyal, K., Singh, N., Jindal, S., Kaur, R., Goyal, A., & Awasthi, R. (2022). Kjeldahl method. In A Goyal, & H. Kumar (Eds.), *Advanced Techniques Analytical Chemistry* (pp. 105–112). Bentham Science Publisher. <https://doi.org/10.2174/97898150502331220101>

- Granda-Mora, K., Alvarado-Capo, 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://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V44-Numero_2/cag01217.pdf
- Gutiérrez Gavonel, Y. K. (2016). *Extractos de algas marinas en el rendimiento y calidad de vainita (Phaseolus vulgaris L.) bajo condiciones de La Molina* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2590>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2022). *Análisis químico y físico en muestras de suelos, plantas y aguas*. <https://www.iniap.gob.ec/servicio-1/>
- Kaschuk, G., Auler, A. C., Vieira, C. E., Dakora, F. D., Jaiswal, S. K., & da Cruz, S. P. (2022). Coinoculation impact on plant growth promotion: a review and meta-analysis on coinoculation of rhizobia and plant growth-promoting bacilli in grain legumes. *Brazilian Journal of Microbiology*, 53, 2027–2037. <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00800-7>
- Kaushal, H., & Kukreja S. (2020). The Effect of Biofertilizers on Growth and Yield of Legumes – A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(11), 2606–2613. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.911.315>
- Korir, H., Mungai, N. W., Thuita, M., Hamba, Y., & Masso, C. (2017). Co-inoculation effect of rhizobia and plant growth promoting rhizobacteria on common bean growth in a low phosphorus soil. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 141. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00141>
- Kumar Mishra, P., Chandra Bisht, S., Jeevanandan, K., Kumar, S., Kumar Bisht, J., & Chandra Bhatt, J. (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>
- Liriano González, R., Núñez Sosa, D. B., & Barceló Díaz, R. (2012). Efecto de la aplicación de *Rhizobium* y Mycorrizas en el crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L) variedad CC-25-9 negro. *Centro Agrícola*, 39(4), 17–20. http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V39-Numero_4/cag044121877.pdf
- Mazariegos Cifuentes, E. N. (2020). *Evaluación de líneas avanzadas de frijol voluble en asocio con maíz, San Carlos Sija, Quetzaltenango* [Tesis de grado, Universidad Rafael Landívar]. Repositorio digital - Universidad Rafael Landívar. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2021/06/14/Mazariegos-Esdras>
- Moreno Reséndez, A., García Mendoza, V., Reyes Carrillo, J. L., Vásquez Arroyo, J., & Cano Ríos, P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1), 68–83. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>
- Morocho, M. T., & Leiva-Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93–103. http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V46-Numero_2/cag11219.pdf
- Nisar Pahalvi, H., Rafiyya, L., Rashid, S., Nisar, B., & Kamili, A. N. (2021). Chemical Fertilizers and Their Impact on Soil Health. In G. H. Dar, R. A. Bhat, M. A. Mehmood, & K. R. Hakeem (Eds.), *Microbiota and Biofertilizers* (Vol. 2, pp. 1–20). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1
- Rodríguez-Sahagún, A., Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., & Rodríguez-Sahagún, A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 333–345. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>

- Rojas-Badía, M. M., Bello-González, M. A., Ríos-Rocajull, Y., Lugo-Moya, D., & Rodríguez-Sánchez, J. (2020). Utilización de cepas de *Bacillus* como promotores de crecimiento en hortalizas comerciales. *Acta Agronómica*, 69(1), 54–60. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.79606>
- Romero-García, V. E., García-Ortiz, V. R., Hernández-Escareño, J. J., & Sánchez-Yáñez, J. M. (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>
- Ruiz-Santiago, R. R., Ballina-Gómez, H. S., Ruiz-Sánchez, E., & Cristóbal-Alejo, J. (2020). Effect of the association of *Rhizobium etli*-*Phaseolus vulgaris* L. on the plant growth and the preference of *Bemisia tabaci*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(1), Article 20. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2915>
- Stajković, O., Deliđ, D., Jođić, D., Kuzmanović, Đ., Rasulić, N., & 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. <https://rombio.unibuc.ro/wp-content/uploads/2022/05/16-1-11.pdf>
- Torres Pérez, J. C., Aguilar Jiménez, C. E., Vázquez Solís, H., Solís López, M., Gómez Padilla, E., & Aguilar Jiménez, J. R. (2022). Evaluación del uso de microorganismos de montaña activados en el cultivo de rosas, Zinacantán, Chiapas, México. *Siembra*, 9(1), Artículo e3500. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3500>
- Tri Wahyudi, A., Puji Astuti, R., Widyawati, A., Meryandini, A., & Asih Nawangsih, 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. <https://academicjournals.org/journal/JMA/article-abstract/148DAF29759>
- Vieira Gabre, V., Story Venancio, W., Moraes, B. A., de Goes Furmam, G., Weigert Galvão C., Potma Gonçalves, D. R., & Mazer Etto, R. (2020). Multiple effect of different plant growth promoting microorganisms on beans (*Phaseolus vulgaris* L.) crop. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 63(Especial), Article e20190493. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-solo-2020190493>
- Villegas Aparicio, Y., Carrillo Rodríguez, J. C., Jerez Salas, M. P., & Jarquín Martínez, B. (2009). Evaluación de una huerta orgánica como un modelo de producción intensiva de cultivos asociados. *Revista Brasileira De Agroecologia*, 4(2), 3534–3537. <https://revista.aba-agroecologia.org.br/rbagroecologia/article/view/9139>