

Bioestimulante para el crecimiento y rendimiento en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a base de aminoácidos y rizobacterias

Biostimulant for growth and yield of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop based on amino acids and rhizobacteria

Jade Auxiliadora Flores Obando¹, Mariela Suguey Avilés Segura², Arelys Centeno Zeledón³, Víctor Monzón Ruiz⁴

¹ Ingeniero Agrónomo graduado en la Universidad Nacional Agraria, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1622-4117> / jfloreso2014@yahoo.es

² Ingeniero Agrónomo graduado en la Universidad Nacional Agraria, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4161-9950> / mariela.aviles@resesanicaragua.com

³ Ingeniero Agrónomo, investigadora de Biocrop, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2451-0851> / arelys.centeno@biocropni.com

⁴ MSc. Agroecología y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional Agraria, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9018-5026> / victor.monzon@ci.una.edu.ni

Autor de correspondencia: victor.monzon@ci.una.edu.ni



RESUMEN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los granos básicos que se cultiva en todo el territorio nacional a diferentes escalas, debido a su contribución en la dieta de los nicaragüenses, por lo que se requiere de alternativas como el uso de bioestimulantes, que contribuyan con el incremento de los rendimientos. El objetivo de esta investigación fue evaluar tres dosis de un bioestimulante a base de aminoácidos y rizobacterias aplicado a la semilla al momento de la siembra, con el propósito de reducir costos de producción y el uso de fertilizantes sintéticos en sistemas de producción de frijol. La investigación se realizó en el municipio de Santa Cruz, en el departamento de Estelí, en la zona central norte de Nicaragua. Se estableció un experimento en diseño de bloques completo al azar; los tratamientos evaluados se definieron en función de 100 kilogramos de semilla y fueron: 1) 600 gramos, 2) 800 gramos, 3) 1 000 gramos y 4) Testigo absoluto (sin aplicación de producto). Las variables evaluadas fueron porcentaje de germinación, diámetro del tallo, altura de planta, longitud de raíz, número de nódulos, rendimiento, índices de esbeltez, índice tallo-raíz y calidad de Dickson. Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza y separación

ABSTRACT

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the staple legumes grown throughout the country on various scales, given its importance in the Nicaraguan diet; therefore, alternatives such as the use of biostimulants are needed to help increase yields. The objective of this study was to evaluate three doses of an amino acid and rhizobacteria based biostimulant applied to the seed at planting, with the aim of reducing production costs and the use of synthetic fertilizers in bean cultivation systems. The study was conducted in the municipality of Santa Cruz, department of Estelí, in the north-central region of Nicaragua. A completely randomized block design experiment was established; the treatments evaluated were based on 100 kilograms of seed and were: 1) 600 grams, 2) 800 grams, 3) 1000 grams, and 4) Absolute control (no product applied). The variables evaluated were germination percentage, stem diameter, plant height, root length, number of nodules, yield, and the slenderness, stem, root, and Dickson quality indices. The data were analyzed using analysis of variance and Tukey's multiple range test at a 95% confidence level. No significant differences were observed among the treatment levels, but differences were noted compared to the

Recibido: 5 de agosto del 2025
Aceptado: 5 de junio del 2026



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donald.juarez@ci.una.edu.ni

© Copyright 2026. Universidad Nacional Agraria (UNA).

CIENCIA DE LAS PLANTAS

de medias por Tukey con 95 % de confiabilidad. No se registró diferencias significativas entre las dosis, pero sí respecto al testigo absoluto, mostrando mejoras en los parámetros de germinación, crecimiento vegetativo, índices de esbeltez, índice tallo-raíz, calidad de Dickson y rendimiento. El uso de bioestimulante es una alternativa viable para los productores como una opción biológica que contribuye con el crecimiento vegetativo y radicular propiciando un uso seguro del bioestimulante en el cultivo del frijol.

Palabras clave: Índice de esbeltez, índice tallo-raíz, *Pseudomonas linbergii*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*, rendimiento.

Los bioestimulantes basados en la combinación de aminoácidos y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, representan una innovación biotecnológica que optimiza los procesos fisiológicos y nutricionales de las plantas. Estos insumos biológicos fortalecen la relación suelo-planta al regular la producción endógena de fitohormonas como auxinas, giberelinas y citoquininas, además de potenciar la solubilización de fosfatos y la movilización de nutrientes.

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) constituye un pilar fundamental en la seguridad alimentaria y la economía de los pequeños productores en Nicaragua. La producción nacional es limitada por factores abióticos como la sequía y las deficiencias nutricionales, así como por la alta dependencia de insumos sintéticos que incrementan los costos de producción y aceleran la degradación edáfica.

Los sistemas agrícolas en su mayoría se caracterizan por una alta dependencia de fertilizantes sintéticos, inadecuadas prácticas de nutrición y suelos con poblaciones microbianas nativas poco eficientes que elevan los costos y aceleran la degradación edáfica.

Los productos biológicos que incluyen el uso de *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* y *Pseudomonas lindbergii*, constituyen una alternativa a los productos sintéticos que contribuyen al incremento de los rendimientos; así lo afirman García-Bernal *et al.* (2022); Hurtado *et al.* (2023) quienes explican que estas tecnologías potencian la biomasa vegetal y mejora la resiliencia del cultivo ante condiciones de estrés ambiental.

Liu *et al.* (2025) indican que la coinoculación y la aplicación de bioestimulantes en frijol derivan en incrementos significativos en el contenido de clorofila, la eficiencia hídrica y, finalmente, en el rendimiento del grano. Sin embargo, la adopción de estas tecnologías en Nicaragua sigue siendo limitada por la falta de validaciones locales que demuestren su compatibilidad varietal y su eficacia en esquemas de manejo integrado (Tzeuton *et al.*, 2024).

Considerando la necesidad de transitar hacia una agricultura más resiliente y menos dependiente de insumos

absolutos, con mejoras en germinación y crecimiento vegetativo, así como en el índice de esbeltez, índice de raíz, calidad de Dickson y rendimiento. El uso de bioestimulantes es una alternativa viable para los productores como una opción biológica para el crecimiento vegetativo y radicular, promoviendo el uso seguro de bioestimulantes en el cultivo de frijol.

Keywords: Slenderness index, stem root index, *Pseudomonas linbergii*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*, yield.

sintéticos, el objetivo de esta investigación es determinar el efecto de un bioestimulante a base de aminoácidos y rizobacterias sobre el crecimiento y el rendimiento del cultivo de frijol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y condiciones del área experimental. El estudio se estableció en la comunidad Santa Cruz en el departamento de Estelí en la finca La Bonita, propiedad del protagonista Erasmo Tenorio, ubicada aproximadamente a 140 km al Norte de Managua, capital de Nicaragua; se localiza en las coordenadas 12.9999606 de latitud Norte y 86.3036673 de longitud Oeste (grados decimales), altitud entre 800 msnm y 1 000 msnm, temperatura promedio anual de 23 °C, precipitación promedio anual de 1 200 mm y de 38 % a 73 % de humedad relativa.

Diseño experimental. Se utilizó un arreglo unifactorial en diseño de bloques completos al azar (BCA), que incluyó tres dosis (600 g, 800 g y 1 000 g) de un bioestimulante comercial (Robust 9WP®) por cada 100 kg de semilla de la variedad INTA Rojo, además de un tratamiento testigo (sin aplicación de producto). La aplicación del bioestimulante se realizó mediante la técnica de mezclado en bolsa al momento de la siembra. Se seleccionó este insumo por su contenido de aminoácidos naturales, derivados de la extracción de proteínas vegetales y subproductos de fermentación, así como por la presencia de las rizobacterias *Pseudomonas linbergii*, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*, sin modificaciones genéticas. El ensayo consistió en cuatro repeticiones, totalizando 16 unidades experimentales de 20 m² (4 m de ancho por 5 m de largo).

Manejo agronómico del experimento. En todas las unidades experimentales para el manejo fitosanitario se aplicaron productos sintéticos como Imidacloprid y Thiodicard para insectos como *Bemisia tabaci* y *Diabrotica* spp, y para el manejo de hongos como antracnosis (*Colletotricum* spp) y mancha angular

CIENCIA DE LAS PLANTAS

(*Phaseisariopsis griseola* Sacc. y Ferraris), productos a base de Azoxystrobina + Difeconazole.

Variables evaluadas

Variables de crecimiento. El diámetro de tallo y la altura de planta se registraron a los 14, 21 y 28 días después de la siembra. En estas variables, al igual que en el resto relacionadas al crecimiento, las mediciones se realizaron en cinco plantas seleccionadas al azar dentro de la parcela útil. Los índices de esbeltez, tallo – raíz, calidad de Dickson y número de nódulos, se determinaron a los 28 días después de la siembra.

Porcentaje de germinación y sobrevivencia. La germinación se evaluó a los 14 días después de la siembra (dds) y la sobrevivencia a los 21 y 28 dds, seleccionando cinco plantas al azar en un metro lineal repetido cinco veces por unidad experimental. El porcentaje de germinación se determinó de acuerdo con la fórmula propuesta por García-López *et al.* (2016).

$$\text{Germinación (\%)} = \frac{\text{Plantas germinada por metro lineal}}{\text{Semillas sembradas por metro lineal}} * 100$$

Diámetro de tallo (mm) y altura de planta (cm). El diámetro del tallo se midió en la parte media de la planta utilizando un vernier, mientras que la altura se registró desde la base del tallo (superficie del suelo) hasta la terminación del tallo (yema terminal) utilizando una regla graduada en centímetros.

Longitud de raíz (cm) y nódulos radicales. Ambas variables se midieron a los 28 días después de la siembra. La longitud de raíz, desde la base del tallo hasta el ápice de la raíz principal; en el caso de los nódulos radicales, se contabilizó el total de nódulos por planta.

Índice de esbeltez (IE). Esta variable establece la relación entre la altura y el diámetro del tallo, y se utiliza para valorar la robustez, el vigor y la resistencia de la planta al acame. Para su determinación Villalón *et al.* (2016) proponen la siguiente fórmula:

$$IE = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}}$$

Índice tallo – raíz (ITR). Establece la relación entre el peso seco en gramos de la parte aérea (tallo y hojas) y el peso seco de la raíz. Para su determinación Villalón *et al.* (2016) proponen la siguiente fórmula:

$$ITR = \frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{Peso seco radical (g)}}$$

Calidad de plantas. Se determinó a través del índice de calidad de Dickson (ICD). Fonseca *et al.* (2002) explican que “este índice integra la relación entre la masa seca total de la planta (g) y la suma del índice de esbeltez (IE) con la relación de la parte seca aérea / parte seca radical o índice de tallo-raíz (ITR)” (p. 12).

“Este índice (IDC) expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, para seleccionar plantas de calidad y seleccionar plantas de menor altura, pero con mayor vigor” Villalón *et al.* (2016, p. 10), este mismo autor propone que la calidad de planta a través del índice de calidad de Dickson es igual a:

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total de la planta (g)}}{\left(\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}}\right) + \left(\frac{\text{Peso seco parte aérea (g)}}{\text{Peso seco radical (g)}}\right)}$$

Para calcular el índice tallo-raíz y el índice de calidad Dickson, las cinco plantas se separaron en dos porciones, parte aérea (hojas y tallo) y raíces, secadas en un horno a 70 °C durante 72 horas, para luego determinar su peso en gramos con una balanza analítica. Los datos fueron registrados a los 28 días después de la siembra.

Rendimiento (kg ha⁻¹). Se registró al momento de la cosecha, seleccionando el total de plantas en la parcela útil para luego expresar ese rendimiento en kg ha⁻¹. Se utilizó una balanza de dos decimales (0.01 g) marca Ohaus Pro y margen de error ±0.02 a ±0.05 g. El rendimiento fue ajustado a un 14 % de humedad mediante la fórmula propuesta por Aguirre y Peske (1988) quienes plantea que:

$$P_I (100-H_I) = P_F (100-H_F)$$

$$P_F = P_I (100-H_I) / (100-H_F)$$

Donde:

P_I = Peso inicial del grano

H_I = Humedad inicial del grano

P_F = Peso final del grano

H_F = Humedad final al 14 %

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza luego de comprobar los supuestos del ANDEVA, y al determinar diferencias significativas, separación de medias por Tukey con 5 % de margen de error. El programa estadístico utilizado fue INFOTAT versión profesional 2020.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de germinación. No se registran diferencias significativas entre las dosis del bioestimulante, pero éstas son superiores respecto al testigo (p = 0.0001), el que obtuvo

CIENCIA DE LAS PLANTAS

69 % de germinación; esto indica, que el bioestimulante favorece este proceso (Figura 1).

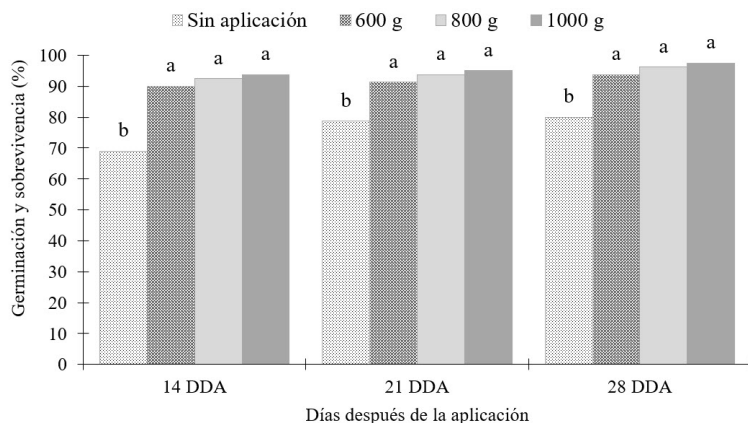


Figura 1. Porcentaje de germinación a los 14 días y sobrevivencia a los 21 y 28 días después de la aplicación por efecto de los tratamientos.

El mayor porcentaje de germinación puede ocurrir debido a la acción de los microorganismos presentes en el bioestimulantes que inhiben la actividad fitopatógena de microorganismos del suelo. Castellanos *et al.* (2004) reportan que *Bacillus subtilis* inhibe el crecimiento de más de 20 especies de hongos pertenecientes a 17 géneros y ayuda a reducir los daños en las semillas causadas por nematodos, hongos del suelo y fitopatógenos, lo que contribuye con la obtención de un alto porcentaje de germinación en el campo; también, la colonización de la espermósfera por estos consorcios microbianos favorece una germinación acelerada al modificar el microambiente radicular, lo que permite mayor eficiencia en la absorción de nutrientes incluso bajo condiciones de fertilización reducida (Rodríguez Aristizabal y Lugo Ramírez, 2023).

Hernández *et al.* (2017), quienes utilizaron productos a base de *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* aplicados a semillas de frijol, reportan reducción del daño por enfermedades, por lo que su uso se constituye en una tecnología para la protección de plantas y el manejo agroecológico del cultivo. Esta mejora en la viabilidad y emergencia inicial, mediada por la estimulación del crecimiento radical, evidencia la eficacia de la inoculación microbiana para optimizar el establecimiento del cultivo frente a condiciones bióticas adversas (Buchelt *et al.*, 2019; Ramos *et al.*, 2022).

Aguado (2012) reporta que las bacterias del género *Rhizobium* y *Azotobacter* y bioestimulantes a base de *Pseudomonas linbergii*, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* tienen la capacidad de fijar nitrógeno

atmosférico y lo convierten en sustancias nitrogenadas como el amonio, en beneficio de las plantas a través del proceso de fijación biológica de nitrógeno; por tanto, la aplicación del bioestimulante a base de aminoácidos más rizobacterias (ROBUST® 9 WP) en la semilla del frijol, mejora el porcentaje de germinación y la sobrevivencia en campo.

Adicionalmente, estos consorcios bacterianos facilitan la solubilización de fosfatos y la producción de fitohormonas, mecanismos que, junto con la provisión de metabolitos esenciales, optimizan la tasa de emergencia y el vigor inicial de las plántulas frente a diversos factores ambientales estresantes (Rodríguez Aristizabal y Lugo Ramírez, 2023; Canizalez-Silva *et al.*, 2024; Hellequin *et al.*, 2020). Estos beneficios fisiológicos se complementan con la capacidad protectora de las rizobacterias, las cuales mejoran la arquitectura radicular y potencian la absorción de recursos necesarios para el vigor después de la germinación (Alves *et al.*, 2021; Romagna *et al.*, 2019).

Diámetro del tallo (mm). No se registran diferencias entre las dosis del bioestimulante, sin embargo, todas las dosis superan al tratamiento sin aplicación ($p=0.0001$), en todos los momentos de muestreo (Figura 2). Este parámetro es un indicador crítico de la capacidad de sostén de la planta, necesario para soportar una mayor producción de vainas. Gothandapani *et al.* (2017) mencionan que las bacterias como *Azotobacter*, así como *Pseudomonas linbergii*, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*, contribuyen con el crecimiento vegetal mediante la producción de ácido indolacético o giberelinas; Jiménez-Mariña *et al.* (2019) agrega que el ácido indolacético es una auxina que regula la dominancia apical, los procesos rizogénicos y el crecimiento.

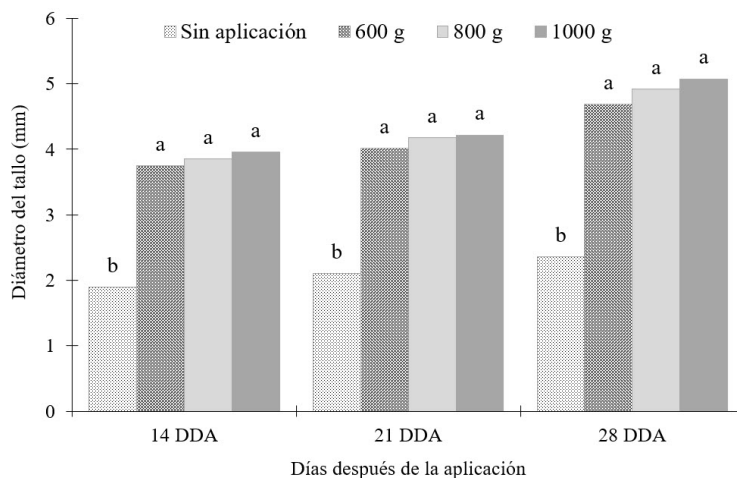


Figura 2. Diámetro del tallo a los 14, 21 y 28 días después de la siembra según tratamientos.

CIENCIA DE LAS PLANTAS

Al promover el desarrollo del sistema radicular, se incrementa el área de exploración radical, optimizando la absorción de agua y nutrientes, lo que contribuye directamente al aumento del diámetro del tallo y a una mayor robustez. Esta actividad hormonal favorece la elongación celular y la división de los tejidos meristemáticos, traducándose en un incremento en las dimensiones morfológicas (Ceiro-Catasú *et al.*, 2023), en comparación con el grupo no tratado. Asimismo, el vigor obtenido tras la inoculación favorece el desarrollo de una arquitectura foliar más eficiente, lo que concuerda con las mejoras en el rendimiento reportadas en estudios sobre bioestimulantes en etapas reproductivas (Silva *et al.*, 2020). De manera similar, se ha observado que la bioinoculación con rizobacterias y el uso de extractos promotores en frijol favorecen un mayor diámetro de tallo frente a las plantas no tratadas, validando el efecto positivo de estos insumos sobre el desarrollo vegetativo inicial (Pereyra Tamayo *et al.*, 2024).

Altura de la planta (cm). No se registran diferencias significativas entre las dosis del bioestimulante, sin embargo, todas las dosis del bioestimulante superan al tratamiento testigo ($p=0.0001$) en los tres momentos de evaluación (Figura 3).

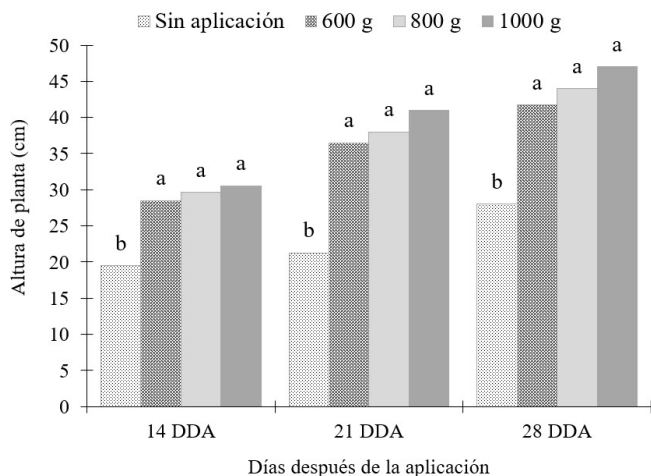


Figura 3. Altura de planta según momento de muestreo y tratamiento.

Este incremento en el desarrollo vegetativo es consistente con la acción de las rizobacterias presentes en el producto, como *Pseudomonas* spp. y *Bacillus subtilis*, reconocidas como promotoras del crecimiento vegetal (Rodulfo-Acuña *et al.*, 2025). Estas bacterias favorecen la altura de la planta mediante la síntesis de fitohormonas, como auxinas y giberelinas, además de mejorar la solubilización y disponibilidad de nutrientes en la rizosfera (Gai y Wang, 2024; Rodulfo-Acuña *et al.*, 2025); también, el aporte de aminoácidos del bioestimulante contribuye a optimizar el metabolismo vegetal, facilitando un mejor aprovechamiento de los recursos y estimulando el crecimiento bajo diversas condiciones.

Alfonso y Leyva (2006) mencionan que el efecto de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal se produce de manera más rápida y evidente a partir de los 17 días después de la aplicación (siembra), y que la altura de planta está determinada por la elongación del tallo debido a la acumulación de nutrientes producto de la fotosíntesis y absorción de nutrientes.

Longitud de raíces (cm). Al igual que en las variables anteriores, el testigo es superado por las dosis del bioestimulante ($p=0.0001$), (Figura 4).

Este efecto puede atribuirse a la acción de las rizobacterias constituyentes del producto, como *Pseudomonas* spp. y *Bacillus subtilis*, las que, mediante la síntesis de fitohormonas y la mejora en la absorción de nutrientes, optimizan la arquitectura radicular y la capacidad de exploración del suelo por parte de las plántulas, un beneficio promotor de crecimiento asociado al uso de *Bacillus subtilis* (De Oliveira *et al.*, 2024).

Las raíces cumplen funciones esenciales de anclaje y absorción de agua y nutrientes, lo que influye en la tolerancia de las plantas a condiciones de sequía y estrés mecánico (Taiz *et al.*, 2015).

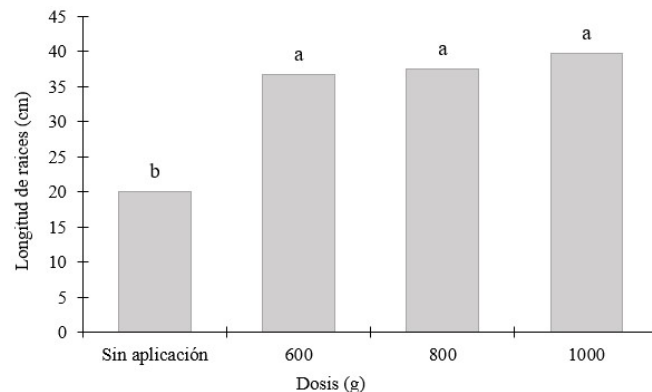


Figura 4. Longitud de raíces a los 28 dda según tratamientos.

Este bioestimulante posee moléculas antifúngicas y promotoras de crecimiento de raíces, esto crea una estimulación y capa de protección favoreciendo la colonización de raíces y tolerancia al daño (Soil technologies Corp. s.f).

De-Bashan *et al.* (2007) y Desai *et al.* (2012), indican que las bacterias promotoras de crecimiento y los bioestimulantes en plantas, pueden incrementar la productividad vegetal, siendo principalmente las especies pertenecientes a los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas linbergii*, *Pseudomonas fluorescens*, las que liberan compuestos al medio que permiten incrementar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, mediante proceso de solubilización de fosfatos, producción de hormonas y fijación de nitrógeno atmosférico;

CIENCIA DE LAS PLANTAS

además pueden actuar directamente sobre el metabolismo de la planta, mejorando la capacidad de absorción de agua y nutrientes, favoreciendo su desarrollo radicular y la actividad enzimática.

Número de nódulos. Una vez más el bioestimulante supera al tratamiento sin aplicación ($p=0.0001$), como se observa en la Figura 5.

Tejera-Hernández *et al.* (2011) mencionan que los microorganismos rizosféricos tienen efecto en una gran diversidad de organismos fitopatógenos, siendo la rizósfera la primera línea de defensa de la planta contra este tipo de organismos, reduciendo el daño en la raíz.

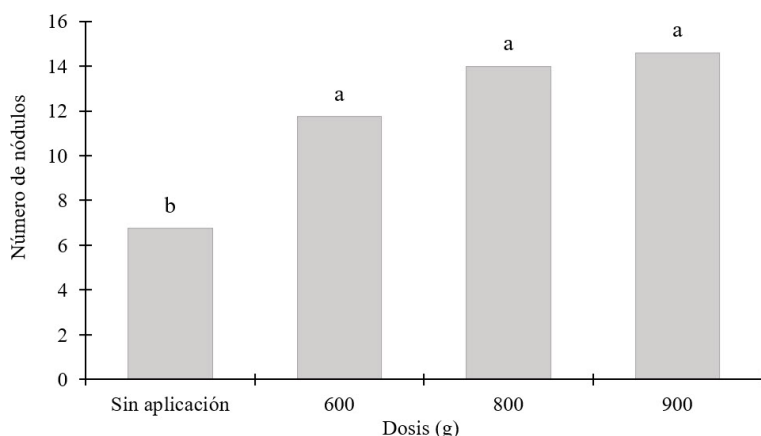


Figura 5. Número de nódulos por planta según tratamientos.

La inoculación bacteriana promueve el desarrollo radicular y mejora la absorción de nutrientes, lo cual incrementa el vigor temprano del cultivo bajo condiciones de campo (Hurtado *et al.*, 2023).

El uso de este bioestimulante mejora la formación de nódulos en el frijol, apoyándose en la capacidad del género *Bacillus* para producir antibióticos y metabolitos antimicrobianos y antifúngicos (Granda-Mora *et al.*, 2024). Esta capacidad metabólica de este tipo de microorganismos permite alterar favorablemente el metabolismo vegetal, optimizando la respuesta fisiológica del cultivar ante condiciones edafoclimáticas variables (Hurtado *et al.*, 2019).

Layton *et al.* (2011) mencionan que, el género *Bacillus* y *Pseudomonas linbergii*, *Pseudomonas fluorescens* poseen diferentes mecanismos como la excreción de antibióticos, sideróforos, enzimas líticas y toxinas que inducen a la resistencia sistémica de la planta y evitan el establecimiento y desarrollo de

organismos fitopatógenos. Además, la acción sinérgica de estas rizobacterias estimula la arquitectura radicular, lo que facilita una mayor exploración del suelo para la captación de elementos esenciales (Granda-Mora *et al.*, 2024).

Índice de esbeltez e índice de tallo-raíz. Ambos índices fueron superiores en las plantas sin aplicación del bioestimulante (Figura 6), lo que indica que el bioestimulante favorece el desarrollo de plantas con mejor robustez, vigor y resistencia al acame.

Villalón *et al.* (2016), afirman que plantas con índice de esbeltez entre 5 y 10 presentan mayor calidad y resistencia a factores climáticos, mientras que un valor igual o mayor a 10 corresponden a plantas menos robustas y con desproporción entre altura y diámetro. A partir de esto, Ramos *et al.* (2022) plantean que los bioestimulantes influyen en el desarrollo morfológico y optimizan el crecimiento del sistema radicular y la arquitectura de la parte aérea.

El uso de bioestimulantes microbianos modulan la producción de biomasa y el fortalecimiento de la estructura radicular, optimizando la tolerancia a factores abióticos. Díaz-Chuquizuta *et al.* (2025); Ledea-Rodríguez *et al.* (2020), afirman que el incremento en la biomasa radicular es promovido por el uso de este tipo de microorganismos que favorecen una absorción eficiente de agua.

Los aminoácidos naturales derivados de proteínas vegetales y subproductos de fermentación, junto con rizobacterias como *Pseudomonas linbergii*, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*, colonizan el sistema radicular y establecen una relación simbiótica con la planta, produciendo sustancias que incrementan su vigor y compuestos que la protegen contra patógenos (Eurofertil, s.f.).

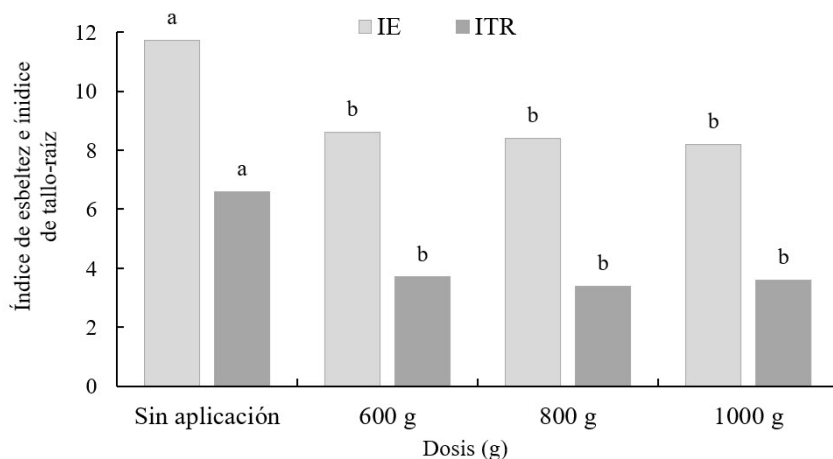


Figura 6. Índice de esbeltez (IE) e índice de tallo-raíz (ITR) según tratamiento.

Índice de calidad de Dickson (ICD). No se registran diferencias significativas entre las dosis del bioestimulante, pero éstas son superiores con respecto al testigo ($p=0.0001$), el que obtuvo un índice de 0.30 (Figura 7).

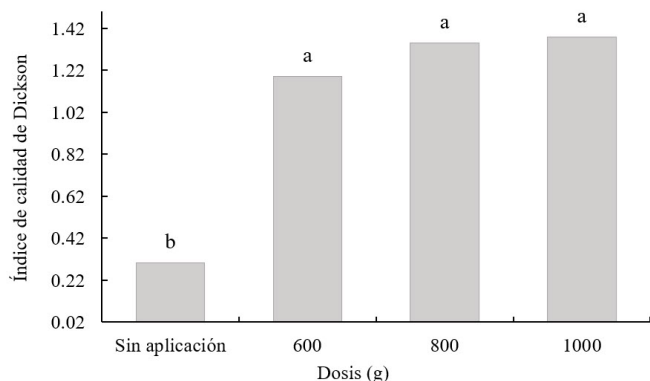


Figura 7. Índice de calidad de Dickson según tratamientos.

El índice de calidad de Dickson expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez de la planta, un valor inferior a 0.20 se considera el mínimo permisible, indicando problemas en el establecimiento de una plantación (Bergamo Fenilli *et al.*, 2010; Ledea-Rodríguez *et al.*, 2020). Sáenz *et al.* (2010) señalan que valores menores a 0.20 son considerados de calidad baja, entre 0.20 y 0.49 de calidad media y mayores o iguales a 0.50 de calidad alta. En cambio, Villalón *et al.* (2016), afirman que valores inferiores a 0.15, se traduce en problemas en el establecimiento de una plantación.

La aplicación del bioestimulante permitió obtener plántulas con una calidad superior (Figura 7), estos valores, según Díaz-Chuquizuta *et al.* (2025) pueden interpretarse como un predictor para el éxito del establecimiento del cultivo.

Aunque el índice de calidad de Dickson es un indicador robusto, su valor puede estar influenciado por diversos factores, como la especie, el manejo en vivero y las condiciones experimentales. La superioridad de los tratamientos con bioestimulante respecto al testigo, sugiere una respuesta positiva derivada de la actividad metabólica de los microorganismos presentes en el producto (*Pseudomonas linbergii*, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*). Este consorcio de microorganismos favorece la biodisponibilidad de nutrientes y estimulan el desarrollo radicular, lo que se traduce en una mayor acumulación de biomasa y un mejor equilibrio morfofisiológico.

La ausencia de diferencias significativas entre las dosis evaluadas podría indicar que, bajo las condiciones experimentales del estudio, se alcanzó un efecto de saturación en la respuesta de las plántulas; en este sentido, la dosis mínima probada resultó suficiente para potenciar el crecimiento, sin que un incremento adicional en la concentración de inóculo produjera una ventaja morfológica extra. Estos resultados

refuerzan la utilidad del índice de calidad de Dickson como predictor de calidad en vivero, dado que el equilibrio en la distribución de la masa, mejorado mediante la aplicación del bioestimulante, permitiría asegurar la supervivencia después del trasplante, alineándose con las tendencias donde la optimización de biomasa seca es clave para el éxito del establecimiento del cultivo (Díaz-Chuquizuta *et al.*, 2025). No obstante, es imperativo considerar que la interpretación de estos valores debe realizarse con cautela, reconociendo que factores extrínsecos como el manejo y la propia especie influyen significativamente en la respuesta final de la planta (Ledea-Rodríguez *et al.*, 2020).

Rendimiento (kg ha⁻¹). El mayor rendimiento se registró con la dosis más alta del bioestimulante ($p=0.0001$), mientras que el testigo obtuvo el valor más bajo (Figura 8), lo que respalda la eficacia de la inoculación.

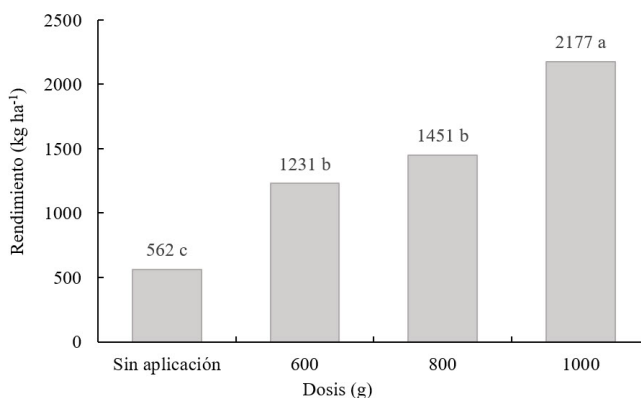


Figura 8. Rendimiento del frijol (kg ha⁻¹) según tratamientos

El uso de bacterias como *Bacillus*, *Pseudomonas linbergii* y *Pseudomonas fluorescens* mejoran la disponibilidad del fósforo en el suelo, por lo que su empleo en diversos cultivos favorece el rendimiento y mejora la fertilidad del suelo (Khan *et al.*, 2007; Zaidi *et al.*, 2009).

Los microorganismos inoculados favorecen la solubilización del fósforo a partir de la descomposición del fitato o ácido fítico (separación de grupos fosfatos que liberan fósforo); este efecto potencia la síntesis endógena de reguladores de crecimiento por parte de las rizobacterias, facilita el desarrollo radical y la expansión de la biomasa aérea, mecanismo que incrementa el rendimiento y optimizar la productividad del cultivo (Hurtado *et al.*, 2022).

Considerando que el frijol posee un ciclo vegetativo relativamente corto, la aplicación del bioestimulante al momento de la siembra provee una ventaja temprana, facilitando la absorción de nutrientes desde las etapas iniciales del desarrollo, lo que incrementa la producción final, esta capacidad de los consorcios microbianos para movilizar formas insolubles de fósforo, complementada

CIENCIA DE LAS PLANTAS

por la acción de los aminoácidos, optimiza la dinámica nutricional del suelo y maximiza la eficiencia biológica del cultivo (Jiménez-Tobón *et al.*, 2023; Corrales Ramírez *et al.*, 2017).

Richardson (2001) plantea que, la inoculación de microorganismos bioestimulantes con función fitasa (enzima que descompone el ácido fítico) incrementan el fósforo suministrado por el fitato, haciéndolo más soluble para su absorción, mejorando la nutrición y el rendimiento de los cultivos.

CONCLUSIÓN

La dosis de 600 gramos del bioestimulante a base de aminoácidos y rizobacterias por cada 100 kg de semilla,

permite obtener plantas de alta calidad con mayor capacidad de germinación y sobrevivencia, representada por mejor robustez, vigor y resistencia al acame, lo que confiere a las plantas de frijol mejor capacidad para enfrentar efectos adversos provocados por factores bióticos y abióticos; sin embargo, los mayores rendimientos se obtienen con la dosis de 1 000 gramos del bioestimulante.

AGRADECIMIENTO

Al productor Erasmo Tenorio, propietario del sistema de producción en el que desarrolló la investigación, por su contribución durante la fase de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguado, G. (2012). *Introducción al uso y manejo de los fertilizantes en la agricultura*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Secretaría de agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Aguirre, R. y Peske, S. (1988). *Manual para el beneficio de semillas*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/SB118.3_A33_Manual_para_el_beneficio_de_semillas.pdf
- Alfonso, E. T. y Leyva Galán, A. (2006). Evaluación Agrobiológica en la coinoculación: micorrizas rizobacterias en tomate. *Agronomía Costarricense*, 30(1). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43630106>
- Alves, L. J., de Sene, D. W., de Paula, G. F., Demétrio, G. B., & Matsumoto, L. S. (2021). Influence of *Bacillus* sp. on soil chemical and microbiological attributes and development of soybean and maize. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(3), 383–393. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i3.2609>
- Bergamo Fenilli, T. A., Amândio Schorn, L., & Nasato, S. K. (2010). Utilização do pó de fumo no substrato para produção de mudas de tucaneira. *Revista Acadêmica Ciência Animal*, 8(2), 183–183. <https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v8i2.10838>
- Buchelt, A. C., Metzler, C. R., Castiglioni, J. L., Dassoller, T. F., & Lubian, M. S. (2019). Aplicação de bioestimulantes e *Bacillus subtilis* na germinação e desenvolvimento inicial da cultura do milho. *Revista de Agricultura Neotropical*, 6(4), 69-74. <https://doi.org/10.32404/rean.v6i4.2762>
- Canizalez-Silva, M., Blanco-Macías, F., España-Luna, M. P., Rosa-Rodríguez, R. D. Lara Herrera, A. y Lozano-Gutiérrez, J. (2024). Microorganismos en la biofertilización del cultivo de maíz como complemento a la fertilización química. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(1), e3903. <https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3903>
- Castellanos, J. A., L. Ortiz, P. Oliva, J. M. Dueñas, J. Fresneda, S. Fraga. y Meléndez Ferrer, O. (2004). *Estudios relacionados con el uso de Bacillus subtilis en el control de hongos fitopatógenos*. VI Simposio de agricultura sostenible. XIV Congreso Científico. <https://www.grupoagricoladecuba.gag.cu/media/Agrotecnia/pdf/2005/Trabajos/EPRO65.pdf>
- Ceiro-Catasú, W. G., Gaibor Fernández, R. R., Vargas Gálvez, C. A., Botello Guevara, H., Bonilla Landaverry, G., & Soza Sánchez, O. (2023). Autochthonous microorganisms as an alternative for the biofertilization of *Glycine max* (L.) Merrill. *Agronomía Mesoamericana*, 34(2), 51686. <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.51686>
- Corrales Ramírez, L. C., Caycedo Lozano, L., Gómez Méndez, M. A., Ramos Rojas, S. J. y Rodríguez Torres, J. N. (2017). *Bacillus* spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *Nova*, 15(27), 45–66. <https://doi.org/10.22490/24629448.1958>
- De-Bashan, L. E., Holguin, G., Glick, B. R. y Bashan, Y. (2007). Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propósitos agrícolas y ambientales. En R. Ferrera-Cerrato, y A. Alarcon. (Eds). *Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico, planta-microorganismo* (pp. 161-215). https://www.researchgate.net/publication/255484106_Plant_growth-promoting_bacteria_for_agriculture_and_the_environment
- De Oliveira, A. O., Peres R. da Costa, A. C., & Zucareli, V. (2024). Inoculação com *Azospirillum brasilense*, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* em sementes de milho. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 13(1), e12424. <https://doi.org/10.59306/rgsa.v13e12024e12424>
- Desai Suseelendra, M., Grover, M., Amalraj, E. L., Praveen Kumar, G.P., & Ahmed, S. K. M. H. (2012). Exploiting plant growth promoting rhizomicroorganisms for enhanced crop productivity. En T. Satyanarayana, J. Bhavdish Narain, A. Prakash. (Eds.). *Microorganisms in sustainable agriculture and biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-2214-912>
- Díaz-Chuquizuta, P., Díaz-Chuquizuta, H., Arévalo-Aranda, Y. y Cuevas, J. P. (2025). Biofermentos en la morfología y calidad de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en vivero. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 28(3). <https://doi.org/10.56369/tsaes.6271>
- Eurofertil. (s.f.). *ROBUST: Bioestimulante, supresor de patógenos y nematodos*. <https://www.eurofertilcr.com/robust>

CIENCIA DE LAS PLANTAS

- Fonseca, É. P., Valéri, S. V., Miglioranza, E., Fonseca, N. A. N., & Couto, L. (2002). Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Revista Árvore*, 26(4), 515–523. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000400015>
- Gai, Y., & Wang, H. (2024). Plant disease: A Growing Threat to global food security. *Agronomy*, 14(8), 1-11. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081615>
- García-Bernal, M., Medina-Marrero, R., Abasolo-Pacheco, F., Ojeda-Silvera, C. M., Arcos-Ortega, G. F. y Mazón-Suástegui, J. M. (2022). Efecto antifúngico de la cepa de *Streptomyces* sp. RL8 y su acción promotora en la germinación y crecimiento inicial del frijol Tépari (*Phaseolus acutifolius* Gray). *Terra Latinoamericana*, 40, 1-12. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1067>
- García-López, J. I., Ruiz-Torres, N. A., Lira-Saldivar, R. H., Vera-Reyes, I. y Méndez-Argüello, B. (2016). *Técnicas para evaluar germinación, vigor y calidad fisiológica de semillas sometidas a dosis de nanopartículas*. <http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/334>
- Gothandapani, S., Sekar, S., & Padaria, J. (2017). Azotobacter chroococcum: Utilization and potential use for agricultural crop production: An overview. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 4(3), 35-42. <https://doi.org/10.22192/ijarbs.2017.04.03.004>
- Granda-Mora, K. I., Correa-Ullauri, C., Collahuazo-Reinoso, Y. y Robles-Carrión, Á. (2024). Commercial microbial inoculants with PGPR on productive and economic variables of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 35, 55654. <https://doi.org/10.15517/am.2024.55654>
- Hellequin, E., Monard, C., Chorin, M., Le Bris, N., Daburon, V., Klarzynski, O., & Binet, F. (2020). Responses of active soil microorganisms facing to a soil biostimulant input compared to plant legacy effects. *Scientific Reports*, 10(1), 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70695-7>
- Hernández Pérez, D., Díaz Cabrera, M. I., Quiñones Rodríguez, R., Santos Batista, R., Portal González, N. y Herrera Isla, L. (2017). Empleo de rizobacterias para la protección de plantas de frijol frente al tizón ceniciento (*Macrophomina phaseolina*). *Centro Agrícola*, 44(1), 1–8. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852017000100001
- Hurtado, A. C., Rodríguez, E. Q., Díaz, Y. P., Vicedo, D. O., Calzada, K. P., & Jiménez, J. (2019). Efecto entre microorganismos eficientes y fitomas-e en el incremento agroproductivo del frijol. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 17(1), 25–33. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=380878986003>
- Hurtado, A. C., Díaz, Y. P., Rodríguez-Lorenzo, M. y Rodríguez-González, V. (2022). Aplicación conjunta del consorcio microorganismos benéficos y FitoMas-E® incrementan los indicadores agronómicos del frijol. *Revista U D C A Actualidad & Divulgación Científica*, 25(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n1.2022.2252>
- Hurtado, A. C., Díaz, Y. P., Hernández-González, L., García-Guardarrama, Y., Pacheco-Méndez, S. M., Rodríguez-Pérez, Y., & Lizazo, I. C. (2023). Coaplicación entre el consorcio microorganismos eficientes y biobras-16® aumentan el crecimiento y la productividad del frijol común. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 12(2), 64–79. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v12n2.107055>
- Jiménez-Mariña, L., Fonseca-Arias, M., García-Alcántara, A., Infante-Fonseca, S. y Vázquez-Rodríguez, J. (2019). Efecto de diferentes concentraciones de Ácido Indolacético (AIA) en el enraizamiento *in vitro* de *Dahlia* sp. *Cultivos Tropicales*, 40(1), a11-e11. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-593620190001000011
- Jiménez-Tobón, D., Vahos-Posada, D. A., Galo-Molina, J. J. y Ríos-Osorio, L. A. (2023). Efecto del uso de biofertilizantes sobre la productividad agrícola. *Hechos Microbiológicos*, 13(2), 37-50. <https://doi.org/10.17533/udea.hm.v13n2a05>
- Khan, M. S., Zaidi, A., & Wani, P. (2007). Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture – a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 27, 29-43. <https://doi.org/10.1051/agro:2006011>
- Layton, C., Maldonado, E., Monroy, L., Corrales, L. C. y Sánchez, L. C. (2011). *Bacillus* spp., perspectiva de su efecto biocontrolador mediante antibiosis en cultivos afectados por fitopatógenos. *NOVA-Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*, 9(16), 177-187. <https://doi.org/10.22490/24629448.501>
- Ledeá-Rodríguez, J. L., Reyes-Pérez, J. J., Castellanos, T., Angulo, C., Reynoso-Granados, T. y Alcaraz-Meléndez, L. (2020). Crecimiento, desarrollo y calidad de plántulas de *Moringa oleifera* (Lamarck) inoculadas con bacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(3), 1-14. <https://doi.org/10.56369/tsaes.3280>
- Liu, K., Deng, F., Zeng, F., Chen, Z. H., Qin, Y., & Chen, G. (2025). Plant growth-promoting rhizobacteria improve drought tolerance of crops: a review. *Plant Growth Regulation*, 105, 567–581. <https://doi.org/10.1007/s10725-025-01300-y>
- Pereyra Tamayo, C. G., Reyes Sosa, M. B., Venegas Venegas, J. A., Aryal, D. R., Pinto Ruiz, R., Ramírez Díaz, R., Guevara Hernández, F., & Ponce Caballero, C. (2024). Agronomic response of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to the application of biofertilizers from livestock excrete in Chiapas, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(2). <https://doi.org/10.56369/tsaes.5192>
- Ramos, A. T., de Credo Assis, K. C., & do Livramento, D. E. (2022). Influência do tratamento de sementes de feijão nas características de germinação e desenvolvimento inicial de plântulas. *Research Society and Development*, 11(17), e56111738714. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i17.38714>
- Richardson, A. E. (2001). Soil microorganisms and phosphorous availability. In C. E. Pankhurst, B. M. Doube (Eds). *Soil biota: management in sustainable farming systems*. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19951907604>
- Rodríguez Aristizabal, M. A. y Lugo Ramírez, M. C. (2023). Estado actual del uso de bioinsumos microbianos en Colombia. *Chilean journal of agricultural & animal science*, 39(3), 444-456. <https://doi.org/10.29393/chjaa39-39eam20039>

CIENCIA DE LAS PLANTAS

- Rodulfo-Acuña, P., Hernández, Y., Terrero-Yepez, P., Paiva, B., Marys-Sarabia, E., & Mejías-Herrera, R. (2025). Rhizospheric and phylloplane bacteria from *Capsicum annuum*: Uncovering candidates for biocontrol of *Ralstonia solanacearum*. *Scientia Agropecuaria*, 16(4), 557-564. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2025.042>
- Romagna, I. S., Junges, E., Karsburg, P., & de Quadros Pinto, S. (2019). Bioestimulantes em sementes de olerícolas submetidos a testes de germinação e vigor. *Scientia Plena*, 15(10), 1-7. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.100201>
- Sáenz Reyes, J. T., Villaseñor Ramírez, F. J., Muñoz Flores, H. J., Rueda Sánchez, A. y Prieto Ruiz, J. A. (2010). *Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán*. <https://1library.co/document/q05or5v9-calidad-planta-viveros-forestales-clima-templado-michoac%C3%A1n.html>
- Silva Santos, L. T., Vespucci, I. L., & Cabral Nunes, M. P. (2020). Aplicação adicional de bioestimulantes em estágio reprodutivo de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) com intuito de acréscimo na produtividade. *Medicina Veterinária e Zootecnia*, 14(3), 1-7. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n3a533.1-7>
- Soil Technologies Corp. (s.f). *Robust WP*. Inoculante beneficioso para suelo/ reíz de rizobacterias <https://www.soiltechcorp.com/product/robust-wp>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sinauer Associates.
- Tejera-Hernández, B., Rojas-Badía, M. M. y Heydrich-Pérez, M. (2011). Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 42(2), 131–138. <http://www.redalyc.org/pdf/1812/181222321004.pdf>
- Tzeuton, A. G., Eyenga, F. E., Meshunke, A., Elock, G. M., Wassom, F. D., Kom, W. J. T., Kengoum, M. P. D., Damtse, E. C. D., Fotsing, L. S., Che, W. A., Mananga, M. J., Niemenak, N., & Ewané, C. A. (2024). Effect of biostimulants based on natural products on the growth and nutritional value of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *American Journal of Plant Sciences*, 15, 492–518. <https://doi.org/10.4236/ajps.2024.157035>
- Villalón-Mendoza, H., Ramos-Reyes, J. C., Vega-López, J. A., Marino, B., Muñoz-Palomino, M. A., & Garza-Ocañas, F. (2016). Indicadores de calidad de la planta de *Quercus canby* Trel. (encino) en vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(1), 46–52. <https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v12-n1-5-indicadores-de-calidad-de-la-planta-de-quercus-canby-Trel-encino-en-vivero-forestal.pdf>
- Zaidi, A., Khan, M. S., Ahemad, M., Oves, M., & Wani, P. A. (2009). Recent advances in plant growth promotion by phosphate-solubilizing microbes. En M. S. Khan, A. Zaidi, & J. Musarrat (Eds.), *Microbial strategies for crop improvement* (pp 23–50). https://doi.org/10.1007/978-3-642-01979-1_2