

POTENCIAL DE *Trichoderma* spp. y *Bacillus* sp. EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE FRÉJOL CAUPÍ (*Vigna unguiculata* L. Walp) EN MANABÍ, ECUADOR

Potential of *Trichoderma* spp. and *Bacillus* sp. on the yield of cowpea crop (*Vigna unguiculata* L. Walp) in Manabí, Ecuador

Vicente Vera-Bravo¹, Bryan Santana-Carrasco², Christopher Suárez-Palacios³, Alex Delgado-Párraga⁴, Geoconda López-Alava⁵, Carlos Valarezo-Beltrón⁶, Sergio Vélez Zambrano⁷

RESUMEN

El fréjol caupí es reconocido por ser una de las leguminosas con mayor importancia en la alimentación humana por su alto valor proteico; de la misma forma microorganismos como *Bacillus* y *Trichoderma* se destacan por la capacidad de estimular diversos procesos relacionados al crecimiento y productividad vegetal. A su vez, el uso adecuado de estos microorganismos es una alternativa para incrementar el potencial productivo del fréjol caupí. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de los microorganismos *Trichoderma* spp. y *Bacillus* sp., en el rendimiento del cultivo de fréjol caupí en condiciones de campo. El estudio se realizó en el Campus Politécnico de la ESPAM MFL, Calceta, Manabí, Ecuador. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con 4 repeticiones. Los microorganismos se aplicaron bajo dos frecuencias (8 y 15 días), en una dosis de 1 L ha⁻¹, con una bomba de mochila de 20 L. Se evaluaron parámetros productivos tales como: longitud de vainas, número de semillas, peso de 100 granos, número y peso de vainas por parcela y rendimiento. Todos los tratamientos en los que se usó *Trichoderma* spp. y *Bacillus* sp. de forma individual o combinada, alcanzaron promedios superiores a 119 vainas por parcela, así como rendimientos por sobre los 5 000 kg ha⁻¹, aunque no hubo cambios notables en la longitud de vainas, número de semillas o el peso de 100 granos verdes, a su vez, las frecuencias de aplicación no estimularon las variables productivas de forma separada. La efectividad del uso de microorganismos sugiere su potencial para mejorar el rendimiento y las características del fréjol caupí, así mismo, destacan la viabilidad de utilizar estos microorganismos como biofertilizantes en el cultivo de caupí, especialmente en regiones donde esta leguminosa es esencial.

Palabras clave: biofertilizantes, leguminosas, microorganismos, productividad.

ABSTRACT

The cowpea bean is recognized as one of the most important legumes in human nutrition due to its high protein value; Likewise, microorganisms such as *Bacillus* and *Trichoderma* stand out for their ability to stimulate various processes related to plant growth and productivity. In turn, the adequate use of these microorganisms is an alternative to increase the productive potential of cowpea beans. This research aimed to evaluate the effect of the microorganisms *Trichoderma* spp. and *Bacillus* sp., in the yield of cowpea crops under field conditions. The study was carried out at the ESPAM MFL Polytechnic Campus, Calceta, Manabí, Ecuador. A completely randomized block design with 4 repetitions was used. The microorganisms were applied at two frequencies (8 and 15 days), at a dose of 1 L. ha⁻¹, with a 20 L backpack pump. Productive parameters such as: pod length, number of seeds, weight were evaluated. of 100 grains, number and weight of pods per plot, and yield. All treatments in which *Trichoderma* spp. and *Bacillus* sp. individually or combined, reached averages of more than 119 pods per plot, as well as yields above 5 000 kg ha⁻¹. However, there were no notable changes in the length of pods, number of seeds or the weight of 100 green grains. In turn, the application frequencies did not stimulate the productive variables separately. The effectiveness of the use of microorganisms suggests their potential to improve the yield and characteristics of cowpea beans. Also, it highlights the viability of using these microorganisms as biofertilizers in cowpea cultivation, especially in regions where this legume is essential.

Keywords: biofertilizers, legumes, microorganisms, yield.

¹ Carrera de Ingeniería Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1211-3849>

² Carrera de Ingeniería Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5828-3434>

³ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8380-5178>

⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Universidad Tecnológica Ecotec. Carrera de Ingeniería Agrónoma, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1305-959X>

⁵ Carrera de Ingeniería Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4755-2032>

⁶ Carrera de Ingeniería Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6476-139X>

⁷ ✉ Carrera de Ingeniería Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3785-7457>. smvelez@espam.edu.ec

INTRODUCCIÓN

El frejol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) destaca como uno de los cultivos de leguminosas más significativos a nivel mundial, siendo un elemento crucial en la dieta tanto humana como animal en diversas regiones de África, América Latina e India (Boukar et al., 2019; Moreira et al., 2023). Reconocido por su excepcional contenido proteico y una alta concentración de carbohidratos, se erige como un pilar fundamental en la alimentación, equiparándose en importancia a los cereales (Ayalew y Yoseph, 2022; Kebede y Bekeko, 2020). La FAO informa que en el año 2021 se cultivaron más de 14 millones de hectáreas de este cultivo a nivel global, generando una producción estimada de 8.9 millones de toneladas (FAOSTAT, 2023).

Los bajos rendimientos del fréjol caupí se deben, en gran medida, a la degradación biológica del suelo, resultado del laboreo convencional y la excesiva aplicación de fertilizantes inorgánicos (Van, 2016). Este proceso reduce la presencia de microorganismos esenciales para la solubilización de nutrientes vitales para las plantas (Ortiz y Sansinenea, 2022; Ren et al., 2020). Además, el uso inapropiado y excesivo de pesticidas agrícolas afecta negativamente la mega diversidad y los niveles de microorganismos beneficiosos como *Bacillus* sp. y *Trichoderma* spp. en el suelo, agravando aún más esta problemática (Sharma et al., 2023). Estos microorganismos desempeñan un papel crucial al potenciar el desarrollo radicular de las plantas de diversas maneras (Hashem et al., 2019; Tančić-Živanov et al., 2020).

Ante esta situación, el empleo de biofertilizantes elaborados a partir de microorganismos como *Bacillus* sp. y *Trichoderma* spp. surge como una alternativa excepcional para impulsar una producción agrícola sostenible y ecológica (Basu et al., 2021; Chandran et al., 2021; Tančić-Živanov et al., 2020). Por ejemplo, el hongo *Trichoderma* spp. reconocido por su capacidad para combatir diversos fitopatógenos, va más allá de su función como agente biocontrolador (Bader et al., 2020; Chen et al., 2021; Li et al., 2016). Además, algunos estudios han destacado su contribución al crecimiento vegetal y su papel facilitador en la absorción de nutrientes minerales, complementando su destacable capacidad biocontroladora (Bononi et al., 2020; Singh et al., 2014; Zhang et al., 2016).

Además, se ha observado que la colonización de *Trichoderma* spp., en la zona radicular no solo promueve un mayor crecimiento de las raíces, sino que también estimula a la planta para tolerar mejores situaciones de estrés abiótico. Esta interacción beneficia la absorción de nitrógeno y la síntesis de ácido indol acético, contribuyendo así al desarrollo saludable de la planta (Abdenaceur et al., 2022; Abdullah et al., 2021; Das et al., 2022). De la misma forma, se ha comprobado que esta colonización aumenta la producción y acumulación de moléculas ROS, lo cual se traduce en un incremento en los porcentajes de germinación de las semillas (Esparza-Reynoso et al., 2023; Saadaoui et al., 2023).

Es importante destacar que, se han llevado a cabo diversos estudios que resaltan el potencial de las bacterias del género *Bacillus* sp. y hongos como *Trichoderma* spp. por sus capacidades como biofertilizantes o bioestimulantes, promoviendo el desarrollo y crecimiento de cultivos como tomate, fresa, fréjol, pimienta, chocho, arroz y maíz (Bader et al., 2020; Chandran et al., 2021; Suárez et al., 2023). En este contexto y considerando la posibilidad de que estos microorganismos puedan ejercer un efecto beneficioso en el rendimiento del cultivo de caupí, se plantea como objetivo determinar el impacto de las frecuencias de aplicación de estos microorganismos en el rendimiento productivo del fréjol caupí en el valle del río Carrizal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

Durante la estación seca del año 2022, se llevó a cabo esta investigación en el valle del río Carrizal, específicamente en el Cantón Bolívar, provincia de Manabí, Ecuador. El experimento se realizó en coordenadas geográficas de Latitud Sur: 0°49'27.9", Longitud Oeste 80°10'27", y a una altitud de 15 metros sobre el nivel del mar. Esta región experimenta un promedio anual de precipitación de alrededor de 800 mm, con una temperatura máxima de 30.7 °C y una mínima de 21.87 °C.

Metodología

Material vegetal

En esta investigación, se utilizó la variedad de fréjol caupí Iniap-463, reconocida por su destacado

contenido protéico y su capacidad sobresaliente para producir vainas verdes o grano en seco, con un potencial de rendimiento de hasta 1 250 kg por hectárea. Con el propósito de contrarrestar los efectos negativos causados por insectos chupadores y cortadores, se aplicó un tratamiento a las semillas utilizando una mezcla de insecticidas (thiametoxam en dosis de 3 mL por kg de semillas + Thiodicarb en dosis de 15 mL por kg de semillas). En el proceso de siembra, se mantuvo un distanciamiento de 0.50 metros entre plantas y 1 metro entre hileras.

Tratamientos

Los tratamientos se estructuraron considerando tanto los microorganismos empleados como las distintas frecuencias de aplicación en el estudio (Tabla1). Cabe resaltar que los dos microorganismos utilizados en este ensayo proceden de productos comerciales. Para el caso del producto a base de *Trichoderma*, está a una concentración de 5×10^{10} esporas activas por mL, y para *Bacillus*, 5×10^{12} UFC mL, habiendo sido evaluados como promotores de crecimiento por la empresa fabricante.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos con sus respectivos códigos y especificaciones.

Tratamiento	Microorganismos	Frecuencia de aplicación
T1	<i>Trichoderma</i> spp.	Cada 8 días
T2	<i>Trichoderma</i> spp.	Cada 15 días
T3	<i>Bacillus</i> sp.	Cada 8 días
T4	<i>Bacillus</i> sp.	Cada 15 días
T5	<i>Bacillus</i> sp. + <i>Trichoderma</i> spp.	Cada 8 días
T6	<i>Bacillus</i> sp. + <i>Trichoderma</i> spp.	Cada 15 días
T7	Control (agua)	

Los tratamientos se administraron a una dosis de 1 L ha^{-1} , aplicados al suelo cerca del tallo mediante el método de drench, de acuerdo a las recomendaciones dadas por el fabricante para ambos productos comerciales, utilizando una bomba manual de presión con dosificador. Cada tratamiento se aplicó de acuerdo con su frecuencia correspondiente según el plan experimental establecido, siendo la primera aplicación al momento de la siembra, al ser una de las etapas en las que el fréjol necesita desarrollar de mejor su sistema radicular y foliar. Además, es necesario destacar que el suelo contaba con 1.9 % de materia orgánica para el establecimiento de los microorganismos.

Diseño estadístico

Se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) bifactorial ($A \times B + 1$) con 4 repeticiones, distribuyendo un total de 28 unidades experimentales de 16 m^2 ($4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$). El análisis estadístico se llevó a cabo mediante ANOVA y la prueba de Tukey a un nivel de significancia de 0.05 para comparación de medias, utilizando el software estadístico Infostat. Esta metodología permitió una evaluación rigurosa de los efectos de los tratamientos y una comparación precisa entre ellos.

Manejo específico del experimento

El fertilizante utilizado consistió en una combinación de 35 kg de nitrógeno, 50 kg de fósforo y 30 kg de potasio, aplicado manualmente a una distancia de 10 cm de las plantas, en dos aplicaciones a los 15 y 30 días tras la siembra. El riego se realizó mediante un sistema de goteo, con una frecuencia aproximada de cada tres días o adaptado a las necesidades hídricas específicas del cultivo. El control de malezas se efectuó manualmente con un machete a los 15 días, y posteriormente se aplicó Paraquat en dosis de 1 L ha^{-1} a los 30 y 45 días después de la siembra utilizando una bomba de mochila. La cosecha inicial se llevó a cabo a los 60 días, momento en el que las vainas estaban en un estado fisiológico adecuado para ser cosechadas en su estado verde.

La simbiosis que ejercen los promotores de crecimiento aplicados en el suelo es compatible con fertilizantes químicos que por su acción rápida son más disponibles en las plantas rápidamente, en cambio los MO requieren un suelo estable y proporcionan nutrientes según vaya desarrollando la planta.

Registro de variables

Los datos registrados fueron de las variables productivas: longitud, número, peso y número de semillas por vaina, peso de 100 granos verdes, y rendimiento en kg ha^{-1} . Para registrar la longitud de las vainas, se midieron aleatoriamente 10 vainas por parcela utilizando una cinta métrica. Respecto al número de granos verdes por vaina, se seleccionaron 10 vainas y se cuantificó el número de granos, luego se pesaron 100 de estos granos verdes utilizando una balanza. El recuento de vainas por parcela se obtuvo

al contar las vainas presentes en 10 plantas seleccionadas al azar de la parcela central en cada cosecha y el peso de las vainas se cuantificó utilizando una balanza gramera para el pesado de las vainas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de semillas y peso de 100 granos verdes no fue influenciado significativamente ($P < 0.05$), por los

tratamientos, microorganismos y frecuencias; sin embargo, la longitud de vainas fue favorecida por la acción de los microorganismos. Además, se destaca que en las variables número de vainas, peso de vainas y rendimiento, todos los tratamientos mostraron prevalencia en relación al testigo; no obstante, las dosis, frecuencias e interacción no indicaron diferencias estadísticas, como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis de varianza en el efecto de frecuencia en la aplicación de microorganismos *Trichoderma* spp. y *Bacillus* sp. sobre el cultivo de fréjol caupí.

Fuentes de variación	Longitud de vainas (cm)	Número de semillas	Peso de 100 granos (g)	Número de vainas	Peso de vainas	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
Testigo vs resto	0.5195	0.3857	0.7015	0.0001 *	0.0001 *	0.0001 *
Microorganismos (A)	0.0099 *	0.2857	0.5553	0.1062	0.5455	0.5455
Frecuencia (B)	0.7137	0.7505	0.6249	0.6940	0.8473	0.8473
A*B	0.5425	0.2857	0.3719	0.5431	0.6969	0.6969
CV (%)	2.54	3.57	10.10	8.08	10.03	10.03

Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren significativamente (Tukey al 5 % de probabilidades de error).

A pesar de que los tratamientos no estimularon el crecimiento de las vainas de caupí en relación al testigo, el uso de *Bacillus* sp. solo y combinado con *Trichoderma*, ejercieron un efecto positivo en la longitud de vainas en relación a el hongo *Trichoderma* aplicado solo, lo que indica la no influencia de las frecuencias de aplicación sobre esta variable. Por otro lado, todos los tratamientos utilizados en esta investigación influenciaron favorablemente las variables productivas como número de vainas, peso de vainas y rendimiento, superando de forma notable al testigo (Tabla 3). Además, no se observaron

diferencias significativas en las fuentes de variación microorganismos, frecuencia e interacción.

En este sentido, se destaca que todos los tratamientos tuvieron promedios superiores a las 119 vainas por parcela, contrastando notablemente con las 89 vainas registradas por el testigo. De la misma forma, todas las combinaciones de microorganismos con frecuencias reportaron promedios de rendimiento superiores a los 1 273 g por parcela (5 095.34 kg ha⁻¹), a diferencia del testigo que solamente alcanzó una media de 938 g por parcela (3 752.71 kg ha⁻¹) (Tabla 3).

Tabla 3. Efecto de frecuencia en la aplicación de microorganismos *Trichoderma* spp. y *Bacillus* sp. sobre longitud de vainas, número de semillas, peso de 100 granos, número de vainas, peso de vainas y rendimiento kg ha⁻¹.

Tratamientos	Longitud de vainas	Número De semillas	Peso 100 granos	Número de vainas	Peso de vainas (g)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
1	22.82	17.25	30.34	123.25 a	1 318.77 a	5 275.06 a
2	22.31	17.00	32.50	119.00 a	1 273.84 a	5 095.34 a
3	23.31	17.00	33.67	139.25 a	1 397.20 a	5 588.81 a
4	23.47	16.50	31.49	127.25 a	1 338.09 a	5 352.37 a
5	23.62	17.00	31.75	122.75 a	1 280.94 a	5 123.76 a
6	23.67	17.50	29.69	127.75 a	1 336.49 a	5 345.94 a
7	22.99	16.75	32.25	89 b	938.18 b	3 752.71 b
Microorganismos						
<i>Trichoderma</i> (T)	22.56 b	17.13	31.42	121.13	1 296.30	5 185.20
<i>Bacillus</i> (B)	23.39 a	16.75	32.58	133.83	1 377.33	5 509.32
T*B	23.64 a	17.25	30.72	125.25	1 308.71	5 234.85
Frecuencias						
8 días	23.25	17.08	31.92	127.09	1 331.13	5 234.51
15 días	23.15	17.00	31.23	125.82	1 319.92	5 279.68

Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren significativamente (Tukey al 5% de probabilidades de error).

Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan parcialmente con Hurtado et al. (2020), que mencionan que la aplicación de microorganismos como *B. subtilis*, *Lactobacillus* sp. y *Saccharomyces cerevisiae* lograron un aumento significativo en la longitud de las vainas en el cultivo de habichuela. Además, es preciso destacar que el número de semillas, así como el peso de 100 granos verdes, son características agronómicas ampliamente influenciadas por el potencial genético que caracteriza a ciertas variedades de frejol caupí (Mendoza et al., 2013; Boukar et al., 2019).

A su vez, se asemejan a los hallazgos descritos por Illa et al. (2020), que de acuerdo a su ensayo sustenta que los tratamientos con microorganismos no presentan diferencias entre sí, pero el uso de productos biológicos ya sea en combinación o de forma independiente, logra un incremento sustancial, hasta un 45.2 % más que el grupo de control, en el número de vainas y granos.

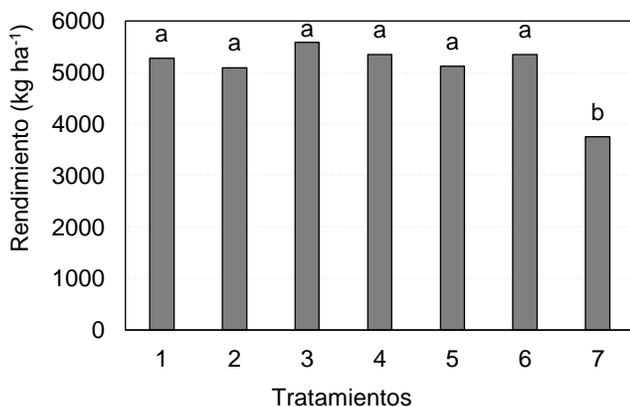


Figura 1. Promedios de los tratamientos a base *Trichoderma* spp., *Bacillus* sp. y testigo, sobre rendimiento kg ha⁻¹. Medias sobre columnas con letras distintas, difieren significativamente (Tukey al 5% de probabilidades de error).

Los estudios previos, como los de Bigatton et al. (2020), Delgado-Torres et al. (2022), así como Shrestha et al. (2016), respaldan estos resultados, al resaltar los beneficios asociados con el aumento del número de vainas en diversas leguminosas, incluyendo el caupí. Estos ensayos destacan los procesos fisiológicos estimulados por microorganismos específicos como *Bacillus* sp. y *Trichoderma* spp., subrayando su efectividad en la producción agrícola de este tipo de plantas. Por ejemplo, el uso de microorganismos eficientes aplicados en la soya demostró un aumento significativo en el número de vainas sobre el tratamiento testigo.

En este sentido, los resultados sugieren que los microorganismos como *Trichoderma* spp. y *Bacillus* sp., no solo mejoran el desarrollo del caupí, sino que también han demostrado su efectividad en otros cultivos, como se refleja en el trabajo de Calero-Hurtado et al. (2019), donde la aplicación de microorganismos eficientes no solo aumentó el tamaño de los frutos de pepino, sino también su rendimiento. Esto se debe principalmente a que *Bacillus* sp. tiene la capacidad de formar esporas tolerantes a situaciones de estrés y que inducen la producción de diversos metabolitos que estimulan el crecimiento vegetal (Tsoetsi et al., 2022).

Los resultados de este estudio guardan similitud con Chávez y Vásquez-Guzmán (2021), quienes también observaron un aumento notable en la productividad del cultivo de frejol arbustivo al utilizar *B. subtilis*. Además, Cristia et al. (2018) encontraron que la inoculación de microorganismos tanto en la semilla, como mediante aplicación foliar, resultó en mejoras significativas en varios indicadores agroproductivos del frejol común. Esta situación se fundamenta en que la bacteria *Bacillus* posee un destacado potencial en la fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato y producción de fitohormonas, así como de ser uno de los agentes de biocontrol más promisorios (Miljaković et al., 2020).

Un punto destacado en estas investigaciones es la combinación de microorganismos eficientes con productos derivados de la industria azucarera, como lo demostrado por Calero-Hurtado et al. (2019), donde el uso de estos bioensumos condujo a un aumento significativo en múltiples aspectos del cultivo de fréjol. De la misma forma, la investigación actual se alinea con varios estudios similares que resaltan el potencial de microorganismos como *Trichoderma* spp. y *Bacillus* sp., como promotores de crecimiento en cultivos. Estudios como los de Becquer et al. (2013), Bononi et al. (2020), Delgado-Torres et al. (2022) y da Silva et al. (2022), han enfatizado el papel crucial de estos hongos y bacterias en la promoción del crecimiento en diversos cultivos de importancia agrícola.

Además de estas contribuciones, es crucial destacar que la promoción del crecimiento de las plantas se ve impulsada por la producción de fitohormonas como giberelinas, citoquininas, ácido salicílico, auxinas y etileno, así como, por otros compuestos volátiles. Estos elementos son esenciales para estimular diversos procesos fisiológicos en las plantas (Hussein et al., 2016; Orozco-Mosqueda et al., 2023; Sherathia et al., 2016; Tančić-Živanov et al., 2020; Tsoetsi et al., 2022).

Específicamente, estos estudios han destacado la eficacia de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* sp., en cultivos como el caupí y otras leguminosas que son ampliamente cultivadas en zonas tropicales y subtropicales en todo el mundo. Esta investigación se suma a la evidencia acumulada que respalda el uso beneficioso de estos microorganismos en el aumento del rendimiento y la calidad de cultivos fundamentales como el caupí.

CONCLUSIONES

En este estudio sobre el efecto de los microorganismos *Trichoderma* spp. y *Bacillus* sp. en el cultivo de fréjol caupí, se evidenció que todos los tratamientos influyeron significativamente en la longitud, número y peso de las vainas. Aunque no se observaron diferencias notables en el número de semillas ni en el peso de 100 granos verdes.

La combinación específica de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* sp. aplicados en diferentes frecuencias incrementó las variables productivas en relación al testigo, y es importante destacar que estos hallazgos subrayan el potencial de los microorganismos para mejorar la productividad y la calidad de los cultivos de fréjol, lo que puede ser especialmente valioso en regiones donde estos cultivos tienen una importancia significativa.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdenaceur, R; Farida, B; Mourad, D; Rima, H; Zahia, O; Fatma, S. 2022. Effective biofertilizer *Trichoderma* spp. Isolates with enzymatic activity and metabolites enhancing plant growth (en línea). International Microbiology 25(4): 817-829. Consultado 11 feb. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10123-022-00263-8>
- Abdullah, NS; Doni, F; Mispan, MS; Saiman, M.Z; Yusuf, YM; Oke, MA; Suhaimi, NS. 2021. Harnessing *Trichoderma* in agriculture for productivity and sustainability (en línea). Agronomy 11(12):2559. Consultado 22 oct. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.3390/agronomy11122559>
- Ayalew, T; Yoseph, T. 2022. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.): A choice crop for sustainability during the climate change periods (en línea). Journal of Applied Biology and Biotechnology 10(3):154-162. Consultado 09 nov. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.7324/JABB.2022.100320>
- Bader, AN; Salerno, GL; Covacevich, F; Consolo, VF. 2020. Native *Trichoderma harzianum* strains from Argentina produce indole-3 acetic acid and phosphorus solubilization, promote growth and control wilt disease on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) (en línea). Journal of King Saud University-Science 32(1):867-873. Consultado 06 oct. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.04.002>
- Basu, A; Prasad, P; Das, S; Kalam, S; Sayyed, R; Reddy, M; El Enshasy, H. 2021. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: Recent developments, constraints, and prospects (en línea). Sustainability 13(3):1140. Consultado 03 feb. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.3390/su13031140>
- Becquer, C; Lazarovits, L; Lalin, I. 2013. In vitro interaction between *Trichoderma harzianum* and plant growth promoter rhizosphere bacteria (en línea). Cuban Journal of Agricultural Science 47(1). Consultado 15 dic. 2023. Disponible en <https://www.cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/262>
- Bigatton, E; Haro Juarez, R; Berdini, A; Baldessari, J; Lucini, E. 2020. Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR) y sus efectos sobre la floración, ontogenia del grano y la granometría del cultivo de maní (*Arachis hypogaea* L.) (en línea). South American Science 1(2):2059. Consultado 25 feb. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.17648/sas.v1i2.59>
- Bononi, L; Chiaramonte, JB; Pansa, CC; Moitinho, MA; Melo, IS. 2020. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. From Amazon soils improve soybean plant growth (en línea). Scientific Reports 10(1):2858. Consultado 05 sept. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59793-8>
- Boukar, O; Togola, A; Chamarthi, S; Belko, N; Ishikawa, H; Suzuki, K; Fatokun, C. 2019. Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] breeding (en línea). Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes 7:201-243. Consultado 06 nov. 2023. Disponible en https://doi.org/10.1007/978-3-030-23400-3_6
- Calero-Hurtado, A; Quintero-rodríguez, E; Pérez-Díaz, Y; Olivera-Viciedo, D; Peña-Calzada, K; Jiménez-Hernández, J. 2019. Efeito entre os microorganismos eficientes e fitomas-e no incremento agroproductivo do feijoeiro (en línea). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial 17(1):25-33. Consultado 22 nov. 2023. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612019000100025
- Chandran, H; Meena, M; Swapnil, P. 2021. Plant growth-promoting rhizobacteria as a green alternative for sustainable agricultura (en línea). Sustainability 13(19):10986. Consultado 03 feb. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.3390/su131910986>
- Chávez, MA; Vásquez-Guzmán, JE. 2021. Efecto de la aplicación de tres dosis de *Bacillus subtilis* en tres variedades de fréjol arbustivo (en línea). Siembra 8(2):2657. Consultado 03 oct. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i2.2657>
- Chen, J; Zhou, L; Din, I; Arafat, Y; Li, Q; Wang, J; Wu, T; Wu, L; Wu, H; Qin, X. 2021. Antagonistic activity of *Trichoderma* spp. Against *Fusarium oxysporum* in rhizosphere of *Radix pseudostellariae* triggers the expression of host defense genes and improves ist

- growth under long-term monoculture system (en línea). *Frontiers in Microbiology* 12:579920. Consultado 22 nov. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.579920>
- Cristia, D; Viamontes, J; Labarta, P; Morgado, A; Pérez, M; Esquivel, D. 2018. Efficient microorganisms as biostimulators to enhance yields of *Phaseolus vulgaris* L. cultivar Delicia Rojo 364. *Agrisost* 24(3):152-159.
- da Silva, R; de Oliveira, L; de Souza Lima, M; Kettner, M; dos Santos Rodrigues, A; da Costa, A. 2022. Influência de *Trichoderma* spp. na promoção de crescimento de *Vigna unguiculata* (en línea). *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 17(4):242-246. Consultado 04 feb. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.18378/rvads.v17i4.9578>
- Das, P; Singh, K; Nagpure, G; Mansoori, A; Singh, R; Ghazi, I; Kumar, A; Singh, J. 2022. Plant-soil-microbes: A tripartite interaction for nutrient acquisition and better plant growth for sustainable agricultural practices (en línea). *Environmental Research* 214:113821. Consultado 05 oct. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113821>
- Delgado-Torres, N; Chumacero-Acosta, J; Rodriguez-Perez, L; Tuesta-Casique, A; Alvarez-Arista, Y. 2022. *Bacillus subtilis* como promotor de crecimiento en el cultivo de café (*Coffea arabica*) (en línea). *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas* 1(2):345-345. Consultado 16 nov. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.51252/reacae.v1i2.345>
- Esparza-Reynoso, S; Ávalos-Rangel, A; Pelagio-Flores, R; López-Bucio, J. 2023. Reactive oxygen species and NADPH oxidase-encoding genes underly the plant growth and developmental responses to *Trichoderma* sp. (en línea). *Protoplasma* 1-13. Consultado 18 feb. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s00709-023-01847-5>
- FAOSTAT. 2023. The statistics division of the FAO (en línea). Consultado 11 oct. 2023. Disponible en <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Hashem, A; Tabassum, B; Abd Allah, E. 2019. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress (en línea). *Saudi journal of biological sciences* 26(6):1291-1297. Consultado 27 nov. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>
- Hurtado, A; González, Y; Díaz, Y; Dillier, L; Peña, O; Vicedo, K; Rodríguez, J. 2020. Respuesta agroproductiva de la habichuela a la aplicación de vermicompost lixiviado y microorganismos eficientes (en línea). *Revista de la Facultad de Ciencias* 9(1):112-124. Consultado 02 dic. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v9n1.82584>
- Hussein, KA; Kadhun, NH; Yassera, YK. 2016. The role of bacteria *Bacillus* sp. *subtilis* in improving rooting response of Mung bean (*Vigna radiata*) cuttings (en línea). *Journal of Contemporary Medical Sciences* 2(7): 88-92. Consultado 08 feb. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v9n1.82584>
- Ila, C., Torassa, M., Pérez, M. A., & Pérez, A. A. 2020. Effect of biocontrol and promotion of peanut growth by inoculating *Trichoderma harzianum* and *Bacillus subtilis* under controlled conditions and field (en línea). *Revista mexicana de fitopatología*, 38(1):119-131. Consultado 14 oct. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1910-6>
- Kebede, E; Bekeko, Z. 2020. Expounding the production and importance of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Ethiopia (en línea). *Cogent Food & Agriculture*, 6(1):1769805. Consultado 09 dic. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1769805>
- Li, Y; Sun, R; Yu, J; Saravanakumar, K; Chen, J. 2016. Antagonistic and biocontrol potential of *Trichoderma asperellum* ZJSX5003 against the maize stalk rot pathogen *Fusarium graminearum* (en línea). *Indian journal of microbiology* 56:318-327. Consultado 06 feb. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s12088-016-0581-9>
- Mendoza, H; Mejía, N; López, J. 2013. INIAP-462 INIAP 463, variedades de caupí de alto rendimiento para el Litoral Ecuatoriano. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias Estación Experimental Portoviejo, Programa de Horticultura.
- Miljković, D; Marinković, J; Balešević-Tubić, S. 2020. The Significance of *Bacillus* spp. in disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops (en línea). *Microorganisms* 8(7):1037. Consultado 19 nov. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.3390/microorganisms8071037>
- Moreira, R; Nunes, P; Pais, I; Nobre, J; Moreira, J; Sofia, A; Pereira, G; Veloso, M; Scotti, P. 2023. Are Portuguese cowpea genotypes adapted to drought? Phenological Development and Grain Quality Evaluation (en línea). *Biology* 12(4):507. Consultado 10 oct. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.3390/biology12040507>
- Orozco-Mosqueda, M; Santoyo, G; Glick, B. 2023. Recent advances in the bacterial phytohormone modulation of plant growth (en línea). *Plants* 12(3):606. Consultado 12 feb. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.3390/plants12030606>
- Ortiz, A; Sansinenea, E. 2022. The role of beneficial microorganisms in soil quality and plant health (en línea). *Sustainability* 14(9):5358. Consultado 21 feb. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.3390/su14095358>
- Ren, N; Wang, Y; Ye, Y; Zhao, Y; Huang, Y; Fu, W; Chu, X. 2020. Effects of continuous nitrogen fertilizer application on the diversity and composition of rhizosphere soil bacteria (en línea). *Frontiers in Microbiology* 11:1948. Consultado 09 nov. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01948>
- Saadaoui, M; Faize, M; Bonhomme, L; Benyoussef, N; Kharrat, M; Chaar, H; Label, P; Venisse, J. 2023. Assessment of Tunisian *Trichoderma* isolates on wheat seed germination, seedling growth and fusarium seedling blight suppression (en línea). *Microorganisms* 11(6):1512. Consultado 08 dic. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061512>

- Sharma, R; Walia, A; Putatunda, C; Solanki, P. 2023. Impact of pesticides on microbial diversity (en línea). In Singh, J; Pandey, A; Singh, S; Garg, V; Ramamurthy, P (eds). Current Developments in Biotechnology and Bioengineering 427-458. Elsevier. Consultado 25 nov. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91900-5.00286-1>
- Sherathia, D; Dey, R; Thomas, M; Dalsania, T; Savsani, K; Pal, K. 2016. Biochemical and molecular characterization of DAPG-producing plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) (en línea). Legume Research-An International Journal 39(4):614-622. Consultado 09 dic. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.18805/lr.v0iOF.9389>
- Shrestha, BK; Karki, HS; Groth, DE; Jungkhun, N; Ham, JH. 2016. Biological control activities of rice-associated *Bacillus* sp. Strains against sheath blight and bacterial panicle blight of rice (en línea). PloS one 11(1):e0146764. Consultado 12 nov. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146764>
- Singh, S; Singh, H; Singh, D; Rakshit, A. 2014. *Trichoderma*-mediated enhancement of nutrient uptake and reduction in incidence of *Rhizoctonia solani* in tomato (en línea). Egyptian Journal of Biology 16:29-38. Consultado 27 oct. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.3390%2Fjof9020167>
- Suárez, C; Rosado, J; Puga, E; Cumbicus, J; Olaya, L; Párraga, A. 2023. Aislamiento y evaluación de cepas nativas de *Trichoderma* spp., como promotor de desarrollo radicular (en línea). CIENCIA UNEMI 16(42):45-54. Consultado 25 nov. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol16iss42.2023pp45-54p>
- Tančić-Živanov, S; Medić-Pap, S; Danojević, D; Prvulović, D. 2020. Effect of *Trichoderma* spp. on growth promotion and antioxidative activity of pepper seedlings (en línea). Brazilian Archives of Biology and Technology 63:e20180659. Consultado 18 jul. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2020180659>
- Tsotetsi, T; Nephali, L; Malebe, M; Tugizimana, F. 2022. *Bacillus* for plant growth promotion and stress resilience: What have we learned? (en línea). Plants 11(19):2482. Consultado 05 feb. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.3390/plants11192482>
- Van, MK. 2016. Crop yields and global food security. Will yield increase continue to feed the world? (en línea). European Review of Agricultural Economics 43(1):191-192. Consultado 27 nov. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1093/erae/jbv034>
- Zhang, S; Gan, Y; Xu, B. 2016. Application of plant-growth-promoting fungi *Trichoderma longibrachiatum* T6 enhances tolerance of wheat to salt stress through improvement of antioxidative defense system and gene expression (en línea). Frontiers in plant science 7:1405. Consultado 29 oct. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01405>

Artículo recibido en: 28 de junio del 2024

Aceptado en: 27 de agosto del 2024