

Revista Cubana de Ciencias Forestales

Volumen 14, 2026, enero-diciembre



**LIBER
CIENCIA**
EDITORIAL CIENTÍFICA
UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO



**UNIVERSIDAD
DE PINAR DEL RÍO**
HERMANOS SAÍZ MONTES DE OCA



CFORES
REVISTA CUBANA DE
CIENCIAS FORESTALES

Artículo original

Efecto de *Bacillus megaterium* y *Trichoderma harzianum* en el crecimiento de plántulas de *Eucalyptus globulus* en vivero

Effect of *Bacillus megaterium* and *Trichoderma harzianum* on the growth of *Eucalyptus globulus* seedlings in a nursery

Efeito de *Bacillus megaterium* e *Trichoderma harzianum* no crescimento de mudas de *Eucalyptus globulus* em viveiro

Ramiro Daniel Acurio Vásquez^{1*}  , Estefany Michelle Tenorio Moya¹  ,
Gabriela Isabel Cevallos López¹ 

¹Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.

*Autor para la correspondencia: racurio@ups.edu.ec

Recibido: 21/05/2025

Aprobado: 03/02/2026.

RESUMEN

El manejo sostenible de plantaciones forestales requiere insumos que mejoren la calidad de las plántulas durante su fase de vivero. Este estudio evaluó el efecto de la aplicación de *Bacillus megaterium* y *Trichoderma harzianum* como promotores del crecimiento en plántulas de *Eucalyptus globulus*. El experimento se llevó a cabo en el vivero de la empresa NOVOPAN (Imbabura, Ecuador), bajo un diseño completamente aleatorizado



con cuatro tratamientos: T1 (*B. megaterium*), T2 (*T. harzianum*), T3 (combinación de ambos) y T4 (control con fertilizante foliar). Se evaluaron altura de planta, longitud de raíz, peso seco foliar y peso seco radicular. Los datos fueron analizados mediante ANOVA y prueba de Duncan ($p < 0,05$). El tratamiento con *B. megaterium* (T1) mostró los mejores resultados, con aumentos del 43,41 % en altura y 16,56 % en longitud radicular respecto al control. Además, presentó mayor acumulación de biomasa aérea y subterránea. La combinación de microorganismos (T3) no evidenció efecto sinérgico. Se concluye que *B. megaterium* puede ser considerado un biofertilizante eficaz en viveros de *E. globulus*, promoviendo un crecimiento vigoroso en la etapa inicial y reduciendo la necesidad de fertilizantes químicos, lo que contribuye al manejo forestal sostenible.

Palabras clave: *Eucalyptus globulus*, *Bacillus megaterium*, *Trichoderma harzianum*, biofertilizantes, crecimiento vegetal, viveros forestales.

ABSTRACT

Sustainable forest management requires inputs that enhance seedling quality during the nursery phase. This study evaluated the effect of *Bacillus megaterium* and *Trichoderma harzianum* as plant growth promoters in *Eucalyptus globulus* seedlings. The experiment was conducted at the NOVOPAN company nursery (Imbabura, Ecuador) using a completely randomized design with four treatments: T1 (*B. megaterium*), T2 (*T. harzianum*), T3 (combination of both), and T4 (control with foliar fertilizer). The variables evaluated included plant height, root length, leaf dry weight, and root dry weight. Data were analyzed using ANOVA and Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). Treatment T1 showed the best results, with increases of 43.41% in plant height and 16.56% in root length compared to the control. It also showed significantly higher accumulation of aerial and root biomass. The combination of both microorganisms (T3) did not demonstrate a synergistic effect. The results indicate that *B. megaterium* is an effective biofertilizer in the nursery stage of *E. globulus*, promoting vigorous early growth and reducing dependence on chemical fertilizers. This contributes to the adoption of sustainable forest management practices.



Keywords: *Eucalyptus globulus*, *Bacillus megaterium*, *Trichoderma harzianum*, biofertilizers, plant growth, forest nurseries.

RESUMO

O manejo florestal sustentável requer insumos que melhorem a qualidade das mudas durante a fase de viveiro. Este estudo avaliou o efeito da aplicação de *Bacillus megaterium* e *Trichoderma harzianum* como promotores de crescimento em mudas de *Eucalyptus globulus*. O experimento foi realizado no viveiro da empresa NOVOPAN (Imbabura, Equador), utilizando um delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos: T1 (*B. megaterium*), T2 (*T. harzianum*), T3 (combinação de ambos) e T4 (controle com fertilizante foliar). As variáveis avaliadas foram: altura da planta, comprimento da raiz, massa seca foliar e massa seca radicular. Os dados foram analisados por meio de ANOVA e do teste de Duncan ($p < 0,05$). O tratamento T1 apresentou os melhores resultados, com aumentos de 43,41% na altura da planta e 16,56% no comprimento da raiz em comparação ao controle. Também apresentou maior acúmulo de biomassa aérea e radicular. A combinação dos microrganismos (T3) não evidenciou efeito sinérgico. Os resultados indicam que *B. megaterium* é um biofertilizante eficaz na fase de viveiro de *E. globulus*, promovendo crescimento vigoroso na fase inicial e reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos. Isso contribui para a adoção de práticas sustentáveis no manejo florestal.

Palavras-chave: *Eucalyptus globulus*, *Bacillus megaterium*, *Trichoderma harzianum*, biofertilizantes, crescimento vegetal, viveiros florestais.

INTRODUCCIÓN

El manejo forestal sostenible ha evolucionado hacia sistemas intensivos que maximizan la producción maderera por unidad de superficie, incorporando prácticas agrícolas en el manejo de plantaciones. Este enfoque requiere viveros forestales altamente especializados que produzcan plántulas con sistemas radiculares optimizados mediante técnicas como la poda química con sales de cobre y el uso de contenedores diseñados para inducir la poda aérea de raíces. Estos sistemas permiten mejorar hasta en un 27% la



generación de raíces nuevas. En este marco, los viveros forestales representan un componente esencial dentro de la cadena productiva, al ser responsables de suministrar plántulas con características morfológicas y fisiológicas óptimas que aseguren el éxito de su establecimiento en campo. La calidad de las plántulas, especialmente en lo que respecta al desarrollo radicular y foliar, constituye un factor determinante en la probabilidad de supervivencia y en el crecimiento inicial dentro de las plantaciones definitivas (Aldrete *et al.*, 2024).

En Ecuador, las plantaciones forestales abarcan 258 658 hectáreas, lo que equivale al 2% del total de la superficie boscosa del país. Estas se encuentran principalmente en la región Sierra (30%), donde predomina la especie *Eucalyptus globulus*, utilizada en la industria maderera y la producción de carbón (Giles Álvarez y Gutiérrez Juárez, 2023).

Dentro de las especies cultivadas, *Eucalyptus globulus* se distingue como una especie forestal de alta productividad, capaz de establecerse en áreas con suelos degradados y bajo un amplio rango de condiciones edafoclimáticas. Esta versatilidad la consolida como alternativa clave para programas de forestación comercial en la sierra ecuatoriana, destacando por su tasa de crecimiento acelerado y atractivo económico (Guallpa-Calva *et al.*, 2019, 2016). La eficiencia productiva de las plantaciones forestales depende fundamentalmente de tres factores críticos: la selección idónea del sitio, la calidad genética del material vegetal y la aplicación de técnicas silviculturales adecuadas (Rojo, 2021). En Ecuador, las plantaciones forestales se concentran principalmente en las provincias de Pichincha, Imbabura y Cotopaxi, constituyendo la principal fuente de madera a nivel nacional, con aproximadamente el 79 % de la producción. Estas zonas lideran en superficie forestada, predominando especies exóticas, especialmente el eucalipto, que representa cerca del 70 % del total plantado (Giles Álvarez y Gutiérrez Juárez, 2023). Sin embargo, diversos factores, como la altitud y el desarrollo limitado del sistema radicular, afectan negativamente el crecimiento y la productividad de esta especie, lo que evidencia la necesidad de implementar prácticas que promuevan un desarrollo óptimo desde las etapas iniciales del cultivo, abordando los tres factores críticos previamente mencionados (Guallpa-Calva *et al.*, 2019).



El uso de fertilizantes químicos en plantaciones forestales genera impactos ambientales significativos, como el consumo de recursos energéticos no renovables, la contaminación de suelos y cuerpos de agua. Frente a esta problemática, se promueven alternativas sostenibles como el uso de microorganismos promotores del crecimiento vegetal (MPCV), los cuales mejoran la absorción de nutrientes y reducen la dependencia de insumos químicos sin comprometer la productividad (Chávez-Díaz *et al.*, 2020; González Ulibarry, 2019).

Estos microorganismos, que habitan naturalmente en los suelos, establecen interacciones beneficiosas con las raíces de las plantas, impulsando no solo el crecimiento vegetal, sino también la estabilidad del ecosistema. Su funcionamiento en red mejora la fertilidad del suelo y, en el contexto del cambio climático, su aplicación como inoculantes naturales aumenta la resistencia de los cultivos, optimiza la absorción de nutrientes esenciales como el fósforo y contribuye significativamente a mitigar los impactos ambientales negativos (Rosabal Ayan *et al.*, 2021). Entre estos microorganismos beneficiosos, las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) destacan por establecer relaciones mutualistas con las plantas que potencian significativamente su desarrollo. Estas bacterias mejoran la absorción de nutrientes mediante diversos mecanismos biológicos como la fijación de nitrógeno, la solubilización de fosfatos y la producción de fitohormonas (Posada Castaño *et al.*, 2021). Adicionalmente, activan respuestas de defensa en las plantas, reduciendo la necesidad de fungicidas e insecticidas sintéticos. La eficacia de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal depende de la compatibilidad entre la cepa, el cultivo y las condiciones ambientales (Tripathi *et al.*, 2024). Dicha eficacia se expresa mediante diversos mecanismos fisiológicos y bioquímicos, entre los que destacan la modulación de transportadores iónicos en las raíces y la secreción de ácidos orgánicos, procesos que favorecen la solubilización y disponibilidad de nutrientes esenciales del suelo, particularmente fósforo y hierro (Khosro *et al.*, 2024). En particular, *Trichoderma harzianum* es una especie saprófita con reconocida actividad biocontroladora, ampliamente utilizada en la agricultura. Su mecanismo de acción incluye el micoparasitismo, la competencia por nutrientes y espacio, y la producción de enzimas líticas como quitinasas y glucanasas, que degradan las paredes celulares de los fitopatógenos (Acurio-Vásquez y García-Bolívar, 2025).



Además de las bacterias, algunos hongos desempeñan un papel clave en la promoción del crecimiento vegetal. El género *Trichoderma*, ampliamente presente en suelos agrícolas, destaca por su acción antagonista frente a fitopatógenos mediante la producción de enzimas hidrolíticas, metabolitos antifúngicos y la inducción de resistencia sistémica en las plantas (Ramírez-Valdespino *et al.*, 2025). Dentro de este grupo, *Trichoderma harzianum* es una especie saprófita utilizada extensamente en biocontrol, cuyo mecanismo de acción incluye micoparasitismo, competencia por nutrientes y la síntesis de enzimas líticas como quitinasas y glucanasas, capaces de degradar las paredes celulares de los patógenos (Ramírez-Valdespino *et al.*, 2025).

A pesar de los avances en el manejo forestal sostenible, persisten desafíos en la fase de vivero, donde la calidad de las plántulas es un factor determinante para el éxito de su establecimiento en campo. Tradicionalmente, se han utilizado fertilizantes químicos para mejorar el crecimiento, pero su aplicación conlleva impactos ambientales significativos, como la contaminación de suelos y recursos hídricos. En este contexto, los microorganismos promotores del crecimiento vegetal, como *Bacillus megaterium* y *Trichoderma harzianum*, surgen como alternativas sostenibles. Sin embargo, los estudios sobre su aplicación en especies forestales, particularmente en *Eucalyptus globulus*, son limitados y no abordan de manera integral sus efectos individuales y sinérgicos. Este estudio contribuye al desarrollo del conocimiento científico sobre el uso de estos microorganismos, evaluando su potencial para mejorar la calidad de las plántulas en vivero, reduciendo la dependencia de insumos químicos y promoviendo prácticas de manejo forestal sostenible.

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de *Bacillus megaterium* y *Trichoderma harzianum*, aplicados de forma individual y conjunta, como promotores del crecimiento en plántulas de *Eucalyptus globulus* durante la fase de vivero. Para ello, se analizaron parámetros morfológicos indicadores de calidad, tales como altura, desarrollo radicular y biomasa foliar



MATERIALES Y MÉTODOS

Identificación molecular de los microorganismos

Las cepas evaluadas fueron obtenidas del cepario del Laboratorio de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, previamente identificadas a nivel de género mediante visualización microscópica. Para el cultivo del microorganismo bacteriano, se utilizó el medio TSB (Trypticase Soya Agar), incubándose a 30 °C y 100 rpm durante 24 horas. Por su parte, el hongo se sembró en medio PDA (Potato Dextrose Agar) y se incubó a 26 °C durante siete días. La extracción del ADN de ambos microorganismos se realizó siguiendo como referencia la metodología descrita por Páramo Aguilera (2021) y Vásconez *et al.* (2020).

Reacción en cadena de la polimerasa (PCR)

Para la identificación molecular del microorganismo bacteriano, se amplificó la región 16S utilizando los cebadores 27F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') (Dos Santos *et al.*, 2019). En el caso del hongo, se emplearon los cebadores ITS1 (5' TCGGTAGGTGAACCTGCGG -3') (Hammad *et al.*, 2021). La PCR para la bacteria se realizó siguiendo el protocolo descrito por Acurio *et al.* (2020), que incluyó una desnaturalización inicial a 95 °C durante dos minutos, seguida de 24 ciclos de desnaturalización a 95 °C por 30 segundos, hibridación a 58 °C por un minuto, extensión inicial a 72 °C por 2 minutos y una extensión final de 10 minutos a 72 °C, con mantenimiento posterior a 4 °C. Para la amplificación del ADN fúngico, se tomó como referencia la metodología descrita por Rigobelo *et al.* (2024) realizando modificaciones en las condiciones del termociclador, se realiza una desnaturalización inicial a 94 °C por cinco minutos, 30 ciclos de desnaturalización a 94 °C por un minuto, hibridación a 53 °C por un minuto, extensión inicial a 72 °C por un minuto y una extensión final de diez minutos a 72 °C, seguida de mantenimiento a 4 °C.

Los productos de PCR se visualizaron en geles de agarosa para verificar su cantidad y calidad aparente, y posteriormente se enviaron para secuenciación a la empresa MacroGen-Korea (Kocić *et al.*, 2019). La similitud de las secuencias se comparó utilizando el programa BLAST (*Basic Local Alignment Search Tool*) del NCBI (*National Center for Biotechnology Information*). El alineamiento múltiple de las secuencias se realizó con el



software UGENE v.1.30.0, empleando el algoritmo MUSCLE, y la construcción del árbol filogenético se llevó a cabo mediante el método Neighbor Joining (Herrera *et al.*, 2024)

Producción de auxinas

Para evaluar la capacidad de síntesis de ácido indol acético (AIA) del microorganismo fúngico, se preparó un medio de cultivo de caldo de papa dextrosa (PDB) suplementado con L-triptófano (1 mg ml⁻¹). En un matraz con 50 mL del medio, se inoculó el hongo a una concentración de 10⁷ conidias/mL, incubándose a 20 °C y 100 rpm durante siete días. Para la bacteria, se utilizó caldo triptona soya suplementado con L-triptófano (1 mg ml⁻¹), inoculándose en tubos de ensayo con 6 ml del medio e incubándose a 30 °C y 100 rpm durante dos días. Se utilizó la metodología modificada de (Acurio Vásquez *et al.* 2020).

Para la cuantificación de AIA, se tomó como referencia el estudio de Mestre *et al.* (2025); se utilizó el reactivo de Salkowski, preparado con 15 mL de FeCl₃ · 6H₂O (0,5 M), 300 mL de H₂SO₄ (98 %) y 500 mL de agua destilada. Tras el período de incubación, las muestras fueron centrifugadas a 3.000 rpm durante 15 minutos. Luego, se tomó 1 ml del sobrenadante y se mezcló con 4 ml del reactivo de Salkowski, dejándose reposar en oscuridad a temperatura ambiente durante 30 minutos. La cuantificación se realizó mediante una curva de calibración con concentraciones de AIA (*Bacillus* y *Trichoderma*) entre 10 a 50 (mg ml⁻¹), midiendo la absorbancia a 530 nm en un espectrofotómetro JASCO V-730. Se analizaron diez muestras por microorganismo y se aplicó una prueba T independiente con un 95 % de confianza para determinar diferencias significativas.

Ensayo en campo

El ensayo se realizó en el vivero de la empresa NOVOPAN, ubicado en la provincia de Imbabura, Cantón Cotacachi, Parroquia Imantag (0°25'33" N, 78°12'16" O), a una altitud de 2 295 m s.n.m. La zona presenta temperaturas entre 4 °C y 16 °C, con una precipitación media anual de 582,27 mm. (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Imantag, 2023) Se utilizó un sustrato compuesto por corteza de pino molida y descompuesta, mezclada con cascarilla de arroz en una proporción 90:10, dispuesto en bandejas plásticas de 96 orificios cada una.



El diseño experimental incluyó tres tratamientos y un grupo control (testigo), que consistió en la aplicación de fertilizante foliar Metalosato multimineral (0,5 ml L⁻¹) (Tabla 1). Los tratamientos se aplicaron semanalmente durante cuatro meses, utilizando una concentración de 1x10⁸ UFC ml⁻¹ tanto para *Bacillus megaterium* como para *Trichoderma harzianum*. Cada bandeja de plántulas se consideró una unidad experimental, y cada tratamiento se replicó tres veces.

Table 1. - Tratamientos empleados

Tratamientos	Descripción
T1	<i>Bacillus megaterium</i>
T2	<i>Trichoderma harzianum</i>
T3	<i>B. megaterium</i> + <i>T. harzianum</i>
T4	Control

Las variables fueron evaluadas de cada repetición; se tomaron 40 plántulas al azar, evitando las plantas bordes de las bandejas; se evaluó la altura de la plántula, longitud de raíz, peso seco foliar y peso seco de la raíz. Los datos recolectados fueron sometidos a un análisis de varianza de una vía con pruebas de diferenciación de medias de Duncan, con un nivel de confianza del 95%. Para determinar la materia seca, se separó la parte aérea de la planta y se secó en bolsas de papel dentro de una estufa a 72 °C durante 48 horas. Posteriormente, se registró el peso en una balanza electrónica GRAM, modelo SPX-1000D. Este procedimiento se repitió para la materia seca de las raíces. La medición se realizó una vez al final del período experimental de cuatro meses.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Identificación molecular de los microorganismos

En el árbol filogenético generado a partir de la secuencia de la región 16S rRNA (Figura 1), el aislado bacteriano se ubicó dentro de un clado monofilético compuesto exclusivamente por cepas identificadas como *Priestia megaterium*, anteriormente conocida como *Bacillus megaterium* (Biedendieck *et al.*, 2021). Esta agrupación incluyó la cepa tipo IAM 13418, empleada como referencia taxonómica, y presentó distancias



filogenéticas prácticamente nulas (0,0000–0,0014), lo que refleja una alta similitud genética entre las secuencias analizadas. La posición del aislado dentro de este grupo confirma su identidad como *P. megaterium*, sin evidencia de ambigüedad filogenética. Adicionalmente, una cepa clasificada como *Bacillus sp.* se agrupó estrechamente dentro del mismo clado, lo que sugiere una posible clasificación pendiente de actualización en la base de datos. Estos resultados coinciden con lo reportado por Liu *et al.* (2023) y Gupta *et al.* (2020), quienes destacan la utilidad de las herramientas moleculares como el análisis filogenético en la identificación precisa de microorganismos con potencial agrícola.

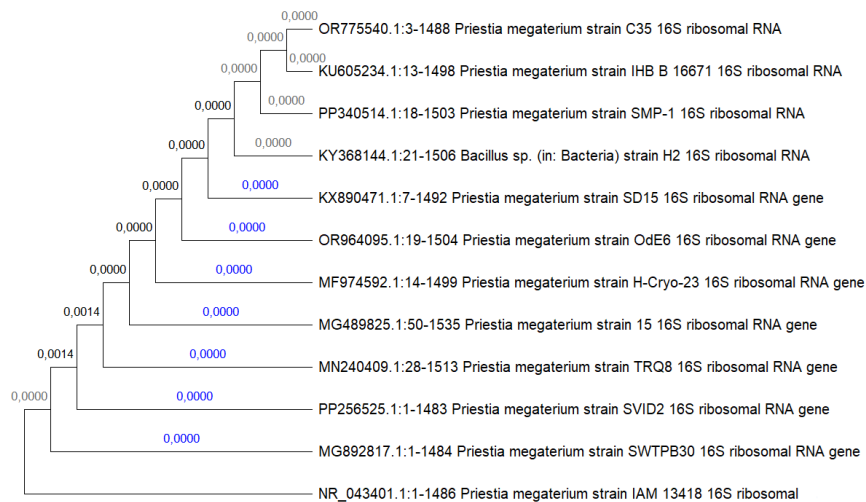


Figura 1. - Relación filogenética a partir de la secuencia de la región 16S rRNA

El árbol filogenético construido a partir de la secuencia ITS1 del aislado fúngico mostró una agrupación clara y consistente con cepas de referencia de *Trichoderma harzianum*, confirmando su identidad taxonómica (Figura 2). La secuencia obtenida se posicionó dentro de un clado estrechamente relacionado con accesiones bien caracterizadas como HG904098.1, KP340273.1 y KP340282.1, con distancias evolutivas mínimas ($\leq 0,006$), lo que evidencia una alta similitud genética y baja divergencia respecto a otras cepas de la misma especie. La robustez del agrupamiento, junto con los resultados obtenidos en el análisis BLAST, valida que el aislado corresponde inequívocamente a *T. harzianum*. Este hallazgo es coherente con lo señalado por Cai y Druzhinina (2021), quienes señalan que el empleo de herramientas moleculares, como la secuenciación multigénica y el análisis filogenético, permite una delimitación más precisa y confiable de especies dentro del



género *Trichoderma*, especialmente en casos de especies crípticas o taxonomías previamente ambiguas.



Figura 2. - Árbol filogenético de la especie *Trichoderma harzianum* a partir de la secuencia de la región 16S rRNA e ITS1

Producción de auxinas

Los resultados obtenidos demuestran que *Bacillus megaterium* presentó una producción significativamente mayor de AIA ($11,32 \pm 0,51 \mu\text{g/mL}$) en comparación con *Trichoderma harzianum* ($9,64 \pm 0,23 \mu\text{g/mL}$) ($p < 0,0001$; Tabla 2). Este hallazgo concuerda con estudios previos que destacan a *Bacillus* spp. como productores eficientes de auxinas, con capacidad demostrada para estimular el desarrollo vegetal mediante la síntesis de fitohormonas como el AIA Bader *et al.* (2020). De igual forma, estos resultados respaldan el rol clave de las auxinas en la promoción del crecimiento de las plantas, especialmente en fases tempranas de desarrollo Acurio-Vásconez y García-Bolívar (2025). No obstante, resulta particularmente destacable que *T. harzianum*, a pesar de producir menores concentraciones de AIA, también indujo efectos promotores del crecimiento vegetal. Esta observación sugiere la activación de mecanismos fisiológicos adicionales a la síntesis de auxinas, como la producción de otras fitohormonas, la mejora en la absorción de nutrientes, o la modulación de respuestas de defensa en la planta hospedera. En este sentido, Urías-García *et al.* (2022) demostraron que *T. harzianum* puede favorecer significativamente el crecimiento de plantas de tomate, incluso bajo condiciones de campo, mediante mecanismos multifactoriales no necesariamente dependientes de altas



concentraciones de AIA, lo que refuerza su potencial como agente bioestimulante integral (Figura 3).

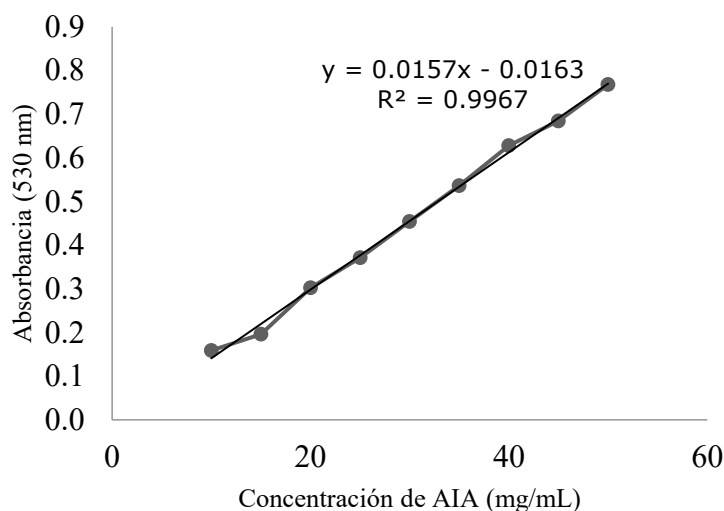


Figura 3. - Curva de calibración de ácido indol acético (AIA)

Tabla 2. - Capacidad de producción de ácido indol acético (AIA)

Microorganismo	($\mu\text{g ml}^{-1}$)
<i>Trichoderma harzianum</i>	$9,64 \pm 0,23^B$
<i>Bacillus megaterium</i>	$11,32 \pm 0,51^A$

Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$), $n=10$.

Evaluación en vivero

El tratamiento T1 *Bacillus megaterium* demostró un efecto promotor del crecimiento significativamente superior en comparación con los demás tratamientos y el control (T4). En altura de planta, T1 registró 207,72 mm, superando al control en un 43,4%. Este hallazgo concuerda con estudios previos que atribuyen a *Bacillus* spp. la capacidad de estimular el crecimiento vegetal mediante múltiples mecanismos, como la producción de fitohormonas (auxinas, giberelinas), solubilización de fosfatos y síntesis de metabolitos bioactivos que modularían el desarrollo radicular (Laishram *et al.*, 2025).



En longitud de raíz, T1 alcanzó 159,33 mm, un 16,6% mayor que el control, reforzando el papel de *B. megaterium* en el desarrollo radicular, crucial para la absorción de agua y nutrientes. Este hallazgo coincide con estudios previos que sugieren una eficiencia en la activación de rutas fisiológicas clave para la expansión celular y la absorción de nutrientes (Zhang *et al.*, 2023).

Respecto al peso seco foliar (2,21 g), T1 presentó un incremento del 169 % y del 83,33 % en el peso seco radicular (0,33 g) respecto al control, lo que evidencia una mayor acumulación de biomasa y eficiencia fisiológica en las plántulas. Estos resultados coinciden con lo reportado por Joseph *et al.* (2025), quienes demostraron que *Trichoderma harzianum* promueve significativamente el crecimiento en *Eucalyptus*, mejorando la masa seca aérea y radicular. El efecto observado puede atribuirse a una mayor disponibilidad de nutrientes, estimulación hormonal y actividad fotosintética, consolidando el potencial de este hongo como bioestimulante en vivero.

El tratamiento T2 *Trichoderma harzianum* mostró un desempeño intermedio, con valores significativamente menores que T1, pero superiores al control en peso seco foliar 2,04 g, lo que indica cierta capacidad promotora, aunque menos efectiva que *B. megaterium*. Según Pršić y Ongena (2020), esto podría deberse a que sus beneficios son más evidentes en etapas posteriores del crecimiento o bajo estrés biótico, donde su rol como biocontrolador es crítico.

La combinación entre *B. megaterium* + *T. harzianum* (T3) no mostró sinergia, con resultados similares o inferiores al control en peso seco radicular (0,16 g), respaldando la hipótesis de una posible inhibición mutua en la expresión de genes promotores del crecimiento, como propone Karuppiah *et al.* (2019). Por otro lado, destaca su potencial como bioinoculante para viveros, especialmente en sistemas donde la rápida acumulación de biomasa es prioritaria. Sin embargo, la falta de sinergia en T3 subraya la necesidad de optimizar consorcios microbianos, considerando compatibilidad metabólica y nichos ecológicos (Santoyo *et al.*, 2021) (Tabla 3).



Tabla 3. - Variables evaluadas en plántulas de *Eucalyptus globulus*

Tratamientos	Altura de planta (mm) ± DE	Longitud de raíz (mm) ± DE	Peso seco foliar (g) ± DE	Peso seco raíz (g) ± DE
T1 (<i>B. megaterium</i>)	207,72 ± 36,6 ^A	159,33 ± 11,48 ^A	2,21 ± 0,47 ^A	0,33 ± 0,06 ^A
T2 (<i>T. harzianum</i>)	157,29 ± 11,7 ^B	131,94 ± 0,74 ^B	2,04 ± 0,72 ^B	0,214 ± 0,10 ^{AB}
T3 (<i>B. megaterium</i> + <i>T. harzianum</i>)	141,62 ± 20,0 ^B	143,61 ± 3,97 ^B	1,85 ± 0,30 ^{BC}	0,16 ± 0,03 ^B
T4 (Control)	144,84 ± 4,56 ^B	136,69 ± 4,89 ^B	0,82 ± 0,05 ^C	0,18 ± 0,03 ^B

Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$), ANOVA de una vía, $n=3$.

CONCLUSIONES

La aplicación de *Bacillus megaterium* demostró ser un bioestimulante para *Eucalyptus globulus* en vivero, superando a *Trichoderma. harzianum* y al control en todas las variables evaluadas. Su aplicación individual es recomendable, mientras que la combinación con *Trichoderma harzianum* no mostró efectos sinérgicos, lo que sugiere la necesidad de estudios adicionales para elucidar las interacciones microbianas.

Agradecimientos

Agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana, que financió el proyecto a través de la partida 037-02-2023-04-06, y a la empresa NOVOPAN, que facilitó la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACURIO VÁSCONEZ, R.D. y GARCÍA BOLÍVAR, J.J., 2025. Effect of *Bacillus megaterium* on strawberry crop. *Agronomía Mesoamericana* [en línea], vol. 36, no. 1, [consulta: 16 agosto 2025]. ISSN 1659-1321. DOI 10.15517/am.2024.59611. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1659-13212025000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es.



ACURIO VÁSCONEZ, R.D., MAMARANDI MOSSOT, J.E., OJEDA SHAGÑAY, A.G., TENORIO MOYA, E.M., CHILUISA UTRERAS, V.P. y VACA SUQUILLO, I.D. los Á., 2020. Evaluation of *Bacillus* spp. as plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) and lettuce (*Lactuca sativa*). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* [en línea], vol. 21, no. 3, [consulta: 16 agosto 2025]. ISSN 0122-8706. DOI 10.21930/rcta.vol21_num3_art:1465. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0122-87062020000300012&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

ACURIO VÁSCONEZ, R.D., TENORIO MOYA, E.M., MEDRANO JARA, K.A. y CHILUISA-UTRERAS, V.P., 2020. Identificación molecular de cepas de *Bacillus* spp. y su uso como rizobacteria promotora del crecimiento en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scientia Agropecuaria*, vol. 11, no. 4, pp. 575-581. ISSN 2306-6741. DOI 10.17268/sci.agropecu.2020.04.13.

ALDRETE, A., SÁNCHEZ VELÁZQUEZ, J.R., AGUILERA RODRÍGUEZ, M., GARCÍA DÍAZ, S.E. y CIBRIAN, D., 2024. Manual de buenas prácticas para el manejo de la salud de planta en viveros forestales | [en línea]. México: Universidad Autónoma Chapingo. [consulta: 16 agosto 2025]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/378234323_Manual_de_buenas_practicas_para_el_manejo_de_la_salud_de_planta_en_viveros_forestales.

BADER, A.N., SALERNO, G.L., COVACEVICH, F. y CONSOLO, V.F., 2019. 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.). *Journal of King Saud University - Science*, vol. 32, no. 1, pp. 867-873. ISSN 1018-3647. DOI 10.1016/j.jksus.2019.04.002.

BIEDENDIECK, R., KNUUTI, T., MOORE, S.J. y JAHN, D., 2021. The “beauty in the beast” – the multiple uses of *Priestia megaterium* in biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 105, no. 14-15, pp. 5719. DOI 10.1007/s00253-021-11424-6.



CAI, F. y DRUZHININA, I.S., 2021. In honor of John Bissett: authoritative guidelines on molecular identification of Trichoderma. *Fungal Diversity*, vol. 107, no. 1, pp. 1-69. ISSN 1878-9129. DOI 10.1007/s13225-020-00464-4.

CAMINO, R. de, 2023. Diagnóstico de la cadena forestal sustentable de Ecuador: cadena forestal sostenible [en línea]. Ecuador: Inter-American Development Bank. [consulta: 16 agosto 2025]. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/diagnostico-de-la-cadena-forestal-sustentable-de-ecuador-cadena-forestal-sostenible>. Ecuador

CHÁVEZ DÍAZ, I.F., ZELAYA MOLINA, L.X., CRUZ CÁRDENAS, C.I., ROJAS ANAYA, E., RUÍZ RAMÍREZ, S. y SANTOS VILLALOBOS, S. de los, 2020. Considerations on the use of biofertilizers as a sustainable agro-biotechnological alternative to food security in Mexico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 11, no. 6, pp. 1423-1436. ISSN 2007-0934. DOI 10.29312/remexca.v11i6.2492.

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PARROQUIA IMANTAG. 2023. IMANTAG Plan de desarrollo y ordenamiento territorial parroquia Imantag 2023–2027. https://gadimantag.gob.ec/media/gadimantag/pdot_archivos/pdot_imantag_2023_2027_entregado_final.pdf

GONZÁLEZ ULIBARRY, P., 2019. Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes [en línea]. 2019. S.l.: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Disponible en: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf.

GUALLPA CALVA, M.Á., LARA VASCONEZ, N.X., ESPINOZA, V.M., GUILCAPI PACHECO, E.D. y FOSADO TÉLLEZ, O.A., 2019. Valoración cualitativa de una plantación de *Eucalyptus globulus* Labill en el sector de Licto, Riobamba, Ecuador. *Polo del Conocimiento*, vol. 4, no. 4, pp. 126-152. ISSN 2550-682X. DOI 10.23857/pc.v4i4.940.



GUALLPA, M., ROSERO, S., SAMANIEGO, M. y CEVALLOS, E., 2016. Caracterización edáfica y dasométrica de una plantación de *Eucalyptus globulus* Labill y propuesta de manejo en la zona estepa espinosa Montano Bajo, Riobamba, Ecuador. *Enfoque UTE*, vol. 7, no. 3, pp. 26-40. ISSN 1390-6542. DOI 10.29019/enfoqueute.v7n3.103.

GUEVARA LUNA, J., ARROYO HERRERA, I., TAPIA GARCÍA, E.Y., ESTRADA DE LOS SANTOS, P., ORTEGA NAVA, A.J. y VÁSQUEZ MURRIETA, M.S., 2024. Diversity and Biotechnological Potential of Cultivable Halophilic and Halotolerant Bacteria from the “Los Negritos” Geothermal Area. *Microorganisms*, vol. 12, no. 3, pp. 482. ISSN 2076-2607. DOI 10.3390/microorganisms12030482.

GUPTA, R.S., PATEL, S., SAINI, N. y CHEN, S., 2020. Robust demarcation of 17 distinct *Bacillus* species clades, proposed as novel Bacillaceae genera, by phylogenomics and comparative genomic analyses: description of *Robertmurraya kyonggiensis* sp. nov. and proposal for an emended genus *Bacillus* limiting it only to the members of the *Subtilis* and *Cereus* clades of species. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, vol. 70, no. 11, pp. 5753-5798. ISSN 1466-5026, 1466-5034. DOI 10.1099/ijsem.0.004475.

HAMMAD, M., GUILLEMETTE, T., ALEM, M., BASTIDE, F. y LOUANCHI, M., 2021. First report of three species of *Trichoderma* isolated from the rhizosphere in Algeria and the high antagonistic effect of *Trichoderma brevicompactum* to control grey mould disease of tomato. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, vol. 31, no. 1, pp. 85. ISSN 2536-9342. DOI 10.1186/s41938-021-00423-4.

JOSEPH, L.A., JEAN, M., APPOLON, I., PIERRE, J., JEAN, K.-V., FILS-AIMÉ, F. y UANE, B.G., 2025. *Trichoderma harzianum* UFT-25 and its relationship with the promotion of *Eucalyptus* plant growth. *Research, Society and Development* [en línea], vol. 14, no. 2, [consulta: 17 agosto 2025]. ISSN 2525-3409. DOI 10.33448/rsd-v14i2.48253. Disponible en: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/48253>.



- KARUPPIAH, V., VALLIKKANNU, M., LI, T. y CHEN, J., 2019. Simultaneous and sequential based co-fermentations of *Trichoderma asperellum* GDFS1009 and *Bacillus amyloliquefaciens* 1841: a strategy to enhance the gene expression and metabolites to improve the bio-control and plant growth promoting activity. *Microbial Cell Factories*, vol. 18, no. 1, pp. 185. ISSN 1475-2859. DOI 10.1186/s12934-019-1233-7.
- KHOSO, M.A., WAGAN, S., ALAM, I., HUSSAIN, A., ALI, Q., SAHA, S., POUDEL, T.R., MANGHWAR, H. y LIU, F., 2024. Impact of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on plant nutrition and root characteristics: Current perspective. *Plant Stress*, vol. 11, pp. 100341. ISSN 2667-064X. DOI 10.1016/j.stress.2023.100341.
- KOCIĆ, K., PETROVIĆ, A., ČKRKIĆ, J., MITROVIĆ, M. y TOMANOVIĆ, Ž., 2019. Phylogenetic relationships and subgeneric classification of European *Ephedrus* species (Hymenoptera, Braconidae, Aphidiinae). *ZooKeys*, vol. 878, pp. 1-22. ISSN 1313-2970, 1313-2989. DOI 10.3897/zookeys.878.38408.
- LAISHRAM, B., DEVI, O.R., DUTTA, R., SENTHILKUMAR, T., GOYAL, G., PALIWAL, D.K., PANOTRA, N. y RASOOL, A., 2025. Plant-microbe interactions: PGPM as microbial inoculants/biofertilizers for sustaining crop productivity and soil fertility. *Current Research in Microbial Sciences*, vol. 8, pp. 100333. ISSN 2666-5174. DOI 10.1016/j.crmicr.2024.100333.
- LIU, J.-M., LIANG, Y.-T., WANG, S.-S., JIN, N., SUN, J., LU, C., SUN, Y.-F., LI, S.-Y., FAN, B. y WANG, F.-Z., 2023. Antimicrobial activity and comparative metabolomic analysis of *Priestia megaterium* strains derived from potato and dendrobium. *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, pp. 5272. ISSN 2045-2322. DOI 10.1038/s41598-023-32337-6.
- MESTRE, M.C., LANGENHEIM, M.E., SEVERINO, M.E. y FONTENLA, S., 2025. Do psychrotolerant Patagonian soil yeasts produce 3-indole acetic acid? *Revista Argentina de Microbiología* [en línea], [consulta: 17 agosto 2025]. ISSN 0325-7541. DOI 10.1016/j.ram.2024.12.004. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754124001603>.



- PÁRAMO AGUILERA, L.A., 2021. Identificación molecular de microorganismos aislados en planteles mineros artesanales de Nicaragua. *I+D Tecnológico*, vol. 17, no. 1, pp. 54-64. ISSN 2219-6714. DOI 10.33412/idt.v17.1.2921.
- POSADA CASTAÑO, A., MEJÍA DURANGO, D., POLANCO-ECHEVERRY, D. y CARDONA ARIAS, J., 2021. Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR): una revisión sistemática 1990-2019. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 12, no. 2, pp. 161-178. ISSN 2145-6453. DOI 10.22490/21456453.4040.
- PRŠIĆ, J. y ONGENA, M., 2020. Elicitors of Plant Immunity Triggered by Beneficial Bacteria. *Frontiers in Plant Science* [en línea], vol. 11, [consulta: 17 agosto 2025]. ISSN 1664-462X. DOI 10.3389/fpls.2020.594530. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2020.594530/full>.
- RAMÍREZ VALDESPINO, C.A., MORALES GARCÍA, M., HERRERA PÉREZ, G., ROMERO CONTRERAS, Y.J., GARCÍA MIRELES, E., SALAS LEIVA, J., GONZÁLEZ CHÁVEZ, S., TARANGO RIVERO, S. y ORRANTIA BORUNDA, E., 2025. Exploring the impact of copper oxide nanoparticles on the biocontrol activity and plant growth promotion of *Trichoderma asperellum*. *Journal of Hazardous Materials Letters*, vol. 6, pp. 100147. ISSN 2666-9110. DOI 10.1016/j.hazl.2025.100147.
- RIBEIRO MARTINS DOS SANTOS, H., SUZART ARGOLO, C., COSTA ARGÔLO-FILHO, R. y LOPES LOGUERCIO, L., 2019. A 16S rDNA PCR-based theoretical to actual delta approach on culturable mock communities revealed severe losses of diversity information. *BMC Microbiology*, vol. 19, no. 1, pp. 74. ISSN 1471-2180. DOI 10.1186/s12866-019-1446-2.
- ROSABAL AYAN, L., MACÍAS COUTIÑO, P., MAZA GONZÁLEZ, M., LÓPEZ VÁZQUEZ, R. y GUEVARA HERNÁNDEZ, F., 2021. Microorganismos del suelo y sus usos potenciales en la agricultura frente al escenario del cambio climático. *Magna Scientia UCEVA*, vol. 1, no. 1, pp. 104-117. ISSN 2805-6701. DOI 10.54502/msuceva.v1n1a14.



SANTOYO, G., GUZMÁN-GUZMÁN, P., PARRA-COTA, F.I., SANTOS-VILLALOBOS, S. de los, OROZCO-MOSQUEDA, M. del C. y GLICK, B.R., 2021. Plant Growth Stimulation by Microbial Consortia. *Agronomy*, vol. 11, no. 2, pp. 219. ISSN 2073-4395. DOI 10.3390/agronomy11020219.

RIGOBELLO, E. C., DE ANDRADE, L. A., SANTOS, C. H. B., FREZARIN, E. T., SALES, L. R., DE CARVALHO, L. A. L., GUARIZ PINHEIRO, D., NICODEMO, D., BABALOLA, O. O., VERDI, M. C. Q., MONDIN, M. y DESOIGNIES, N. 2024. Effects of *Trichoderma harzianum* and *Bacillus subtilis* on the root and soil microbiomes of the soybean plant INTACTA RR2 PROT.M. *Frontiers in Plant Science*, 15. DOI 10.3389/fpls.2024.1403160

TORRES ROJO, J.M., 2021. Factores ambientales y físicos que afectan la supervivencia de siete especies forestales en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* [en línea], vol. 12, no. 64, [consulta: 17 agosto 2025]. ISSN 2448-6671. DOI 10.29298/rmcf.v12i64.831. Disponible en: <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/831>.

TRIPATHI, A., PANDEY, V.K., JAIN, D., SINGH, G., BRAR, N.S., TAUFEEQ, A., PANDEY, I., DASH, K.K., SAMROT, A.V. y RUSTAGI, S., 2024. An updated review on significance of PGPR-induced plant signalling and stress management in advancing sustainable agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 16, pp. 101169. ISSN 2666-1543. DOI 10.1016/j.jafr.2024.101169.

URÍAS GARCÍA, C., PÉREZ ALVAREZ, S., HÉCTOR ARDISANA, E.F. y FLORES CÓRDOVA, M.A., 2022. Promotion of tomato growth by *Trichoderma* sp. under shade mesh conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* [en línea], vol. 50, no. 4, [consulta: 17 agosto 2025]. ISSN 1842-4309. DOI 10.15835/nbha50312962. Disponible en: <https://www.notulaebotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/12962>.



ZHANG, K., RENGEL, Z., ZHANG, F., WHITE, P.J. y SHEN, J., 2023. Rhizosphere engineering for sustainable crop production: entropy-based insights. Trends in Plant Science, vol. 28, no. 4, pp. 390-398. ISSN 1360-1385. DOI 10.1016/j.tplants.2022.11.008.

Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

