

Respuesta en campo de plántulas de *Gmelina arborea* inoculada y no inoculada con microorganismos

Field response of *Gmelina arborea* seedlings inoculated and not inoculated with microorganisms

Laura Daniela Devia Grimaldo¹, Maryeimy Varón López² y Alexander Correa³

¹ Candidata a Doctora en Agrobiología Ambiental en la Universidad Pública de Navarra; ² Docente de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad del Tolima e investigadora del Grupo de Investigación GEBIUT; ³ Estudiante de Maestría en Ciencias Pecuarias con énfasis en Ganadería Ecológica de la Universidad del Tolima, Ibagué.

mvaronl@ut.edu.co

Resumen

Gmelina arborea Roxb. es una especie forestal de gran importancia en Colombia por su rápido crecimiento, capacidad de adaptación al bosque seco tropical y potencial en reforestación, producción de madera y forraje. No obstante, su desarrollo óptimo requiere altos aportes de nitrógeno y fósforo, nutrientes limitados en suelos tropicales, lo que ha fomentado el uso intensivo de fertilizantes de síntesis con consecuencias económicas y ambientales negativas. Como alternativa sostenible, los microorganismos promotores de crecimiento vegetal (MPCV) y los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) ofrecen un potencial significativo para mejorar la nutrición y el crecimiento de especies forestales. En este estudio se evaluó en campo la respuesta de plántulas de *G. arborea* inoculadas con *Bacillus velezensis* (BB1), *Priestia aryabhattai* (DB1) y *Rhizophagus intraradices* (M-9), en comparación con plantas no inoculadas. Las plántulas fueron previamente tratadas en vivero con suspensiones microbianas y establecidas en la granja experimental “El Recreo” (Tolima, Colombia) bajo un diseño completamente al azar. Los parámetros evaluados incluyeron altura, diámetro basal, índice de esbeltez y tasa de crecimiento. Los resultados evidenciaron un efecto positivo de los inóculos microbianos, destacándose *R. intraradices* (M-9), que incrementó significativamente la altura y el diámetro basal en comparación con el control. Estos hallazgos confirman que la inoculación microbiana favorece el crecimiento inicial de *G. arborea* y permite reducir en un 50% la dosis de fertilización química sin comprometer el desarrollo de las plantas. En conclusión, la aplicación de consorcios microbianos nativos constituye una estrategia sostenible y eficaz para el establecimiento de *G. arborea* en sistemas de bosque seco tropical.

Palabras clave: *Gmelina arborea*, microorganismos promotores de crecimiento vegetal, hongos micorrízicos arbusculares, biofertilización, bosque seco tropical.

Abstract

Gmelina arborea Roxb. is an important forest species in Colombia due to its rapid growth, adaptability to tropical dry forest ecosystems, and potential use in reforestation, timber production, and high-quality forage. However, its optimal development requires high inputs, rogen and phosphorus, nutrients often limited in tropical soils, which has led to the intensive use of synthetic fertilizers with significant economic and environmental consequences. As a sustainable alternative, plant growth-promoting microorganisms

(PGPM) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) show great potential to enhance nutrition and growth in forest species. This study evaluated the field response of *G. arborea* seedlings inoculated with *Bacillus velezensis* (BB1), *Priestia aryabhattai* (DB1), and *Rhizophagus intraradices* (M-9), compared with non-inoculated plants. Seedlings were pre-treated in the nursery with microbial suspensions and established at the “El Recreo” experimental farm (Tolima, Colombia) under a completely randomized design. Growth parameters included height, basal diameter, slenderness index, and daily growth rate. Results showed a positive effect of microbial inoculation, with *R. intraradices* (M-9) significantly increasing plant height and basal diameter compared to the control. These findings demonstrate that microbial inoculation enhances the early growth of *G. arborea* and allows a 50% reduction in chemical fertilization without compromising plant development. In conclusion, the application of native microbial consortia constitutes an effective and sustainable strategy for the establishment of *G. arborea* in tropical dry forest systems.

Keywords: *Gmelina arborea*, plant growth-promoting microorganisms, arbuscular mycorrhizal fungi, biofertilization, tropical dry forest.

Introducción

Gmelina arborea Roxb. (Melina) es una especie forestal con una gran adaptabilidad a ecosistemas de bosque seco en Colombia (Melo-Cruz et al., 2012; López-Aguirre, 2023). Este árbol es ampliamente utilizado a nivel comercial como fuente de madera, combustible y forraje de alto valor nutricional. Además, se emplea en programas de reforestación debido a su rápido crecimiento, alta tolerancia a suelos contaminados por metales pesados y capacidad para el secuestro de carbono, contribuyendo a la mitigación de los efectos del cambio climático (Barua et al., 2010; López-Aguirre, 2023). Sin embargo, su óptimo desarrollo requiere un suministro significativo de nutrientes esenciales como el fósforo (P) y nitrógeno (N) (González-Rojas et al., 2016).

La disponibilidad de estos nutrientes en los suelos tropicales es limitada, lo que ha llevado al uso intensivo de fertilizantes de síntesis química (Siedliska et al., 2021; Lin & Cai, 2023). Aunque este enfoque puede incrementar temporalmente la fertilidad del suelo, sus consecuencias adversas son significativas, ya que no solo genera costos económicos elevados, sino también impactos ambientales negativos como desequilibrio fisisquímico y ecológico, pérdida de biodiversidad edáfica, lixiviación y escorrentía. Además de contribuir

desfavorablemente al cambio climático mediante la formación de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) (Maitra et al., 2022).

Frente a esta problemática, es indispensable desarrollar e implementar alternativas ecológicas ecoamigales y el enfoque de “una sola salud” (Maitra et al., 2022). Una estrategia prometedora es el uso de Microorganismos Promotores de Crecimiento Vegetal (MPCV) y Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) nativos, debido a su adaptación a las condiciones ambientales locales (Wakarera et al., 2022; Shet & Garg, 2022). Estos microorganismos actúan como biofertilizantes, fitoestimulantes y fitosanitarios naturales, ofreciendo una solución sostenible para mejorar la calidad del suelo y optimizar el rendimiento agrícola (Arora & Fatima, 2022).

La acción biofertilizante de los MPCV es debido a diferentes mecanismos directos que intervienen en el ciclo del P a través de la mineralización y solubilización de fuentes orgánicas e inorgánicas. Este proceso ocurre mediante la actividad de enzimas como la fosfatasa ácida y alcalina, y la producción de ácidos orgánicos como el cítrico, fórmico, glucónico, málico y oxálico, lo que incrementa la disponibilidad de este elemento en el suelo (Liang et al., 2020)

(Pan & Cai, 2023a). Así mismo, las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico (N_2) desempeñan un papel fundamental en la nutrición de las plantas mediante la reducción del N_2 a formas asimilables, como el amoniaco (NH_3), a través de la acción de enzimas como la nitrogenasa (Lugtenberg, 2015). Por otra parte, estos microorganismos son capaces de producir auxinas como el ácido indolacético (AIA), una fitohormona que estimula el metabolismo celular promoviendo el crecimiento vegetal y radicular (Lopes et al., 2021a). Otro mecanismo relevante es la síntesis de sideróforos, compuestos que permiten la quelación orgánica del hierro (Fe), mejorando su disponibilidad para las plantas (Schalk et al., 2011).

Teniendo en cuenta los altos requerimientos nutricionales de *Gmelina arborea* y la necesidad de implementar estrategias sostenibles que aumenten la productividad mientras se conoce y conserva la biodiversidad del bosque seco tropical (Bs-T), planteamos la hipótesis de que los microorganismos nativos aislados de plantaciones de Melina poseen actividades promotoras de crecimiento vegetal que, al ser inoculados, incrementan significativamente el desarrollo y crecimiento de esta especie. Con base en esta hipótesis, el objetivo de este estudio fue probar en el campo algunos indicadores de crecimiento de plántulas de *G. arborea* inoculadas con consorcios microbianos en edades tempranas en vivero.

Materiales y métodos

La fase de campo fue realizada en la granja experimental “El Recreo” de la Universidad del Tolima y localizada a 74° 04' 39" W y 4° 35' 46" N en el municipio de El Guamo (Tolima). Posee una temperatura promedio de 28°C, una precipitación promedio anual de 1400 mm con régimen bimodal y una altitud de 326 m. s. n. m. Para evaluar la capacidad de establecimiento de *G. arborea* en asocio con *Bohtriochloa pertusa* se

sembraron treinta y ocho plántulas en arreglo en línea a lo largo de una cerca viva; en esta plantación se evaluó el crecimiento de plántulas no inoculadas (control) frente a plántulas inoculadas con las siguientes cepas aisladas del suelo de árboles de *G. arborea*: *Bacillus velezensis* (BB1), *Priestia aryabhattai* (DB1) y *Rhizophagus intraradices* (M-9). Cada planta recibió previamente 50 mL de suspensión bacteriana a una concentración de 1×10^9 UFC-ml⁻¹ y ochenta esporas de HMA aplicadas directamente en la zona de la raíz en condiciones de vivero y fertilizadas con urea usando una dosis del 50% de la recomendación convencional (10g/L) (Cristancho, 2024), dejándolas crecer durante setenta y cinco días antes de establecerlas en campo (Devia, 2025).

Se hicieron mediciones de crecimiento con una cinta métrica para la altura y un pie de rey para el diámetro basal, con cuyos valores se calculó el índice de esbeltez;

Este índice, también conocido como esbeltez o "slenderness ratio", mide la relación entre la altura del árbol y su diámetro a la altura del pecho. Generalmente se calcula dividiendo la altura del árbol entre su diámetro basal. Un valor alto de esbeltez indica que el árbol es más delgado y alto, lo que puede implicar mayor susceptibilidad a la ruptura o a la inestabilidad en condiciones de viento.

Diseño experimental y Análisis estadístico

Se estableció un diseño completamente al azar con un tratamiento control y tres tratamientos: *Bacillus velezensis* (BB1); *Priestia aryabhattai* (DB1) y *Rhizophagus intraradices* (M-9), de cada tratamiento había tres repeticiones. Los datos de campo se analizaron mediante una prueba de medias, usando la prueba de Tukey para detectar diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$). Para ello se procesó con el software Infostat.



Imagen 1. Plantación en línea de *Gmelina arborea* en la estación experimental El Recreo, Universidad del Tolima, municipio del Guamo, departamento del Tolima.

Resultados y discusión

El crecimiento de las plántulas de *Gmelina* establecidas en línea a lo largo de la cerca sugieren una respuesta positiva a la aplicación de inóculos microbianos. En la Tabla 1 se ilustra la diferencia en el crecimiento de plántulas

establecidas en línea de *Gmelina arborea* inoculadas con microorganismos, frente a las plántulas que no fueron inoculadas. Resalta el efecto del inóculo preparado con base en *Rhizophagus intraradices* (M-9), dado que muestra una tendencia a mejorar los parámetros evaluados en las plantas.

Tabla 1. Diferencia de medias de plantas de *Gmelina arborea* inoculadas y no inoculadas establecidas en línea a lo largo de la cerca

	Control	<i>Bacillus velezensis</i> (BB1)	<i>Priestia aryabhattai</i> (DB1)	<i>Rhizophagus intraradices</i> (M-9)
Altura (cm)	159,3 ±15,8	157,0±518,2	155±14,1	181,67±18,2
Diámetro basal (mm)	24,9± 5,8	30,26±5,83	26,17±4,5	39,37±5,8
Incremento altura (cm/día)	0,64±0,7	0,60±0,8	0,58±0,6	0,73±0,1
Índice de esbeltez (IE)	6,41±0,8	5,57±1,1	6,07±1,2	5,41±2,2

Fuente: Esta investigación

El trabajo de Devia (2025) evidencia una repuesta positiva, con diferencias estadísticas, en la altura de las plantas y en el área foliar de

estas plántulas manejadas en vivero, en los tratamientos inoculados, principalmente con las cepas *Bacillus velezensis* (BB1) y *Priestia aryabhattai* (DB1). En campo, este estudio está

en línea con los resultados reportados por Anwar & Bustamam (2022) y Karthikeyan *et al.* (2024) en plantas de melina. Estos sugieren que la aplicación de consorcios de MPCV (*Azospirillum brasilense* y *Priestia megaterium*) y HMA (*Gigaspora albida* y *Rhizophagus aggregatum*) incrementó significativamente la altura, el diámetro del tallo y la biomasa de las plántulas. En cuanto a la micorriza, en condiciones de vivero, no se mostró un efecto positivo, distinto a lo observado en condiciones de campo (Devia 2025).

Estos hallazgos son consistentes con los reportados por Cristancho Gómez, (2024), quien utilizando las mismas cepas *Pseudomonas juntendi* y *Paenibacillus taichungensis* aisladas de relaves mineros evidenció que una reducción del 50% en la fertilización con urea, combinada con la inoculación microbiana, permitió mantener niveles adecuados de fósforo y nitrógeno en plántulas de Melina, además de mejorar significativamente su desarrollo morfológico respecto a tratamientos con otras proporciones de sustitución de urea (0, 75 y 100%) y sin inoculación. De forma complementaria, se reporta que la aplicación de estos microorganismos con roca fosfórica (50 y 100%) y en combinación con el HMA *Rhizophagus irregularis*, incrementó el diámetro del tallo, la longitud de la raíz y el índice de robustez respecto al control sin fertilización ni inoculación microbiana, lo cual también ha sido documentado por Ramírez-Gil, (2019).

La inoculación microbiana también favoreció significativamente el área foliar, aumentando su tamaño en un 29,2 a 37,3%, con excepción del tratamiento con *Rhizophagus intratadices* (M-9 T3).

Conclusión

Se concluye que la inoculación de plántulas de Gmelina arborea con microorganismos promotores de crecimiento vegetal (MPCV) y hongos micorrízicos arbusculares (HMA) representa una estrategia eficaz para mejorar el

establecimiento y desarrollo inicial de esta especie en campo.

Los resultados muestran que, en comparación con las plantas no inoculadas, las plántulas inoculadas —en especial con *Rhizophagus intraradices* (M-9)— presentaron mayores valores en altura, diámetro basal, tasa de crecimiento diario e índice de robustez. Estos efectos positivos se asocian con mecanismos microbianos como la solubilización de fósforo, fijación biológica de nitrógeno, producción de fitohormonas (AIA) y sideróforos, que favorecen la nutrición mineral y estimulan el crecimiento radicular y aéreo.

De forma complementaria, se confirma que la inoculación permite reducir la dosis de fertilización química al 50% sin comprometer el crecimiento de las plantas, lo que contribuye a la sostenibilidad al disminuir costos de insumos y mitigar impactos ambientales asociados al uso intensivo de fertilizantes de síntesis.

En síntesis, el estudio respalda la hipótesis inicial: los consorcios microbianos nativos asociados a *G. arborea* poseen un alto potencial como bioinoculantes para su cultivo en bosque seco tropical, ofreciendo beneficios productivos, ecológicos y económicos.

Agradecimientos

Al programa “Productos y procesos tecnológicos con microorganismos rizosféricos para la restauración de suelos degradados en ecosistemas agroforestales y agrícolas”. Contrato 450 de 2021, Ministerio de Ciencias, Fondo Francisco José de Caldas.

Referencias

- Anwar, G., & Bustamam, H. (2022). *Journal of Tropical Mycorrhiza*. 1(1), 37–45.
- Arora, N. K., & Fatima, T. (2022). Role of plant growth promoting microbes in managing sustainability of stressed agroecosystems. *Environmental Sustainability*, 5(1), 1–3. <https://doi.org/10.1007/s42398-022-00222-z>
- Barua, A., Gupta, S. D., Mridha, M. A. U., & Bhuiyan, M. K. (2010). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth of *Gmelina arborea* in arsenic-contaminated soil. *Journal of Forestry Research*, 21(4), 423–432. <https://doi.org/10.1007/s11676-010-0092-1>
- Cristancho Gómez, J. F. (2024). *Niveles de sustitución de fertilización química utilizando un consorcio microbiano como bioinoculante de Gmelina arborea Roxb. a nivel de vivero*. Tesis de Maestría. Universidad del Tolima.
- Devia, L. (2025) Consorcio microbiano con potencial bioinoculante aislado de suelo asociado a *Gmelina arborea* Roxb. establecido en zonas de Bosque Seco Tropical. Tesis de Maestría, Universidad del Tolima, Ibagué
- Higuera-Trujillo, K. J. (2024). (Interacción de *Rhizophagus irregularis* y microorganismos solubilizadores de fósforo y su efecto sobre el crecimiento y supervivencia de *Gmelina arborea* en vivero). Universidad Nacional de Colombia.
- Karthikeyan, A., Mahalingam, L., Nair, P., Vijju, J., Chacko, P., & Kumar, A. M. (2024). *Establishment of Gmelina arborea plantation in an uncultivated farmland inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting bacteria*. 18–31
- Liang, J. L., Liu, J., Jia, P., Yang, T. tao, Zeng, Q. wei, Zhang, S. chang, Liao, B., Shu, W. sheng, & Li, J. tian. (2020). Novel phosphate-solubilizing bacteria enhance soil phosphorus cycling following ecological restoration of land degraded by mining. *ISME Journal*, 14(6), 1600–1613. <https://doi.org/10.1038/s41396-020-0632-4>
- Liu, Y., Nessa, A., Zheng, Q., Hu, D., Zhang, W., & Zhang, M. (2023). Inoculations of phosphate-solubilizing bacteria alter soil microbial community and improve phosphorus bioavailability for moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) growth. *Applied Soil Ecology*, 189. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104911>
- López-Aguirre, A. M. (2023a). *selection of open-pollinated families of Gmelina arborea*.
- López-Aguirre, A. M. (2023b). *selection of open-pollinated families of Gmelina arborea*.
- López-Bedoya, P. A., Magura, T., Edwards, F. A., Edwards, D. P., Rey-Benayas, J. M., Lövei, G. L., & Noriega, J. A. (2021). What level of native beetle diversity can be supported by forestry plantations? A global synthesis. *Insect Conservation and Diversity*, 14(6), 736–747. <https://doi.org/10.1111/icad.12518>
- Lu, J.-J., Perng, C., Lee, S., & Wan, C. (2000). Use of PCR with Universal Primers and Restriction Endonuclease Digestions for Detection and Identification of Common Bacterial Pathogens in Cerebrospinal Fluid. In *JOURNAL OF CLINICAL MICROBIOLOGY* (Vol. 38, Issue 6). <https://journals.asm.org/journal/jcm>
- Lugtenberg, B. (2015). Principles of plant-microbe interactions: Microbes for sustainable agriculture. *Principles of Plant-Microbe Interactions: Microbes for Sustainable Agriculture*, 1–448. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-08575-3>
- Maitra, S., Brestic, M., Bhadra, P., Shankar, T., Praharaj, S., Palai, J. B., Shah, M. M. R., Barek, V., Ondrisik, P., Skalický, M., & Hossain, A. (2022a). Bioinoculants—natural biological resources for sustainable plant production. *Microorganisms*, 10(1), 1–35. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010051>
- Maitra, S., Brestic, M., Bhadra, P., Shankar, T., Praharaj, S., Palai, J. B., Shah, M. M. R., Barek, V.,

Ondrisik, P., Skalický, M., & Hossain, A. (2022b). Bioinoculants—natural biological resources for sustainable plant production. *Microorganisms*, 10(1), 1–35. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010051>

Melo-Cruz, O., Martínez-Bustamante, E., & Correa-Londoño, G. (2012). Indicadores morfométricos foliares para la detección temprana del estrés hídrico de *Gmelina arborea* roxb. en sistemas agroforestales, Santafé de Antioquia. *Colombia Forestal*, 15(2), 215

Ramírez-Gil, J.G- (2029) Dependency, colonization, and growth in *Gmelina arborea* inoculated with five strains of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 72(1): 8775-8783

Schalk, I. J., Hannauer, M., & Braud, A. (2011). New roles for bacterial siderophores in metal transport and tolerance. *Environmental*

Microbiology, 13(11), 2844–2854. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02556.x>

Shet, S. A., & Garg, S. (2022a). Plant Growth Promotion of *Vigna unguiculata* in Arid Sandy Soil Using Bacterial Species from Coastal Sand Dune. *Agricultural Research*, 11(4), 716–727. <https://doi.org/10.1007/s40003-022-00613-y>

Shet, S. A., & Garg, S. (2022b). Plant Growth Promotion of *Vigna unguiculata* in Arid Sandy Soil Using Bacterial Species from Coastal Sand Dune. *Agricultural Research*, 11(4), 716–727. <https://doi.org/10.1007/s40003-022-00613-y>

Wakarera, P. W., Ojola, P., & Njeru, E. M. (2022). Characterization and diversity of native *Azotobacter* spp. isolated from semi-arid agroecosystems of Eastern Kenya. *Biology Letters*, 18(3). <https://doi.org/10.1098/rsbl.2021.061>