

Nota técnica

Microorganismos nativos como estrategia para mejorar la salud del suelo en sistemas agroforestales.

Native microorganisms as a strategy to improve soil health in agroforestry systems.

Maryeimy López Varón¹ y Jairo Mora Delgado²

¹ Profesora asistente, Departamento de Biología, Grupo de investigación Genética y Biotecnología Vegetal de la Universidad del Tolima; ² Profesor Titular, Departamento de Producción Pecuaria, Grupo de Investigación Sistemas Agroforestales Pecuarios, Universidad del Tolima, Ibagué

mvaronl@ut.edu.co

Resumen

El suelo es considerado como un organismo vivo porque alberga una diversidad de macro y microorganismos que interactúan entre sí realizando diferentes funciones en los ciclos globales de la naturaleza. Mediante un contrato de recuperación contingente entre la Universidad del Tolima y FIDUPREVISORA, se ejecutarán recursos de MINCIENCIAS en el proyecto titulado "Microorganismos rizosféricos nativos como estrategia para mejorar la salud del suelo en sistemas agroforestales" en el marco del programa (87020) Productos y procesos tecnológicos con microorganismos rizosféricos para la restauración de suelos degradados en ecosistemas agroforestales y agrícolas. En este proyecto, cuatro instituciones bajo el liderazgo de la Universidad del Tolima, resolverán las siguientes preguntas: ¿Cuáles microorganismos del suelo y que consorcios de ellos, están presentes en diferentes condiciones de suelos agrícolas y forestales? Y ¿cuáles de esos consorcios pueden constituir inóculos que al ser aplicados como biofertilizantes mejoren la calidad del suelo y, por tanto, ¿esto se refleja en mejores indicadores de productividad primaria y agronómica de los cultivos?. Se espera obtener, al menos un consorcio que pueda ser inoculado al suelo para potencializar su fertilidad, contribuya a mejorar o recuperar su bioestructura y mejorar la productividad en los sistemas agroforestales y agrícolas

Palabras clave: bioestructura, cambio climático, agroforestería, rizosfera

Abstract.

The soil is considered a living organism because it houses a diversity of macro and microorganisms that interact with each other, performing different functions in the global cycles of nature. Through a contingent recovery contract between the University of Tolima and FIDUPREVISORA, resources from MINCIENCIAS will be executed in the project entitled "Native rhizospheric microorganisms as a strategy to improve soil health in agroforestry systems" within the framework of the program (87020) Products and processes Technological techniques with microorganisms for the restoration of degraded soils in agroforestry and agricultural ecosystems. In this project, four institutions under the leadership of the University of Tolima will solve the following questions: Which edaphic microorganisms, and which consortia of them, are present in different conditions of agricultural soils? And which of these consortiums can constitute inocula that, when applied as biofertilizers, improve soil quality and, therefore, is this reflected in better indicators of primary and agronomic productivity of crops? It is expected to obtain at least one consortium that can be inoculated into the soil to enhance its fertility, recover the biostructure and improve productivity in agroforestry and agricultural systems.

Keywords: biostructure, climate change, agroforestry, rhizosphere

INTRODUCCIÓN

La investigación en consorcios de microorganismos como bioinoculantes en especies leñosas y herbáceas, interactuando en arreglos agroforestales, constituye una innovación replicable en sistemas de cultivos asociados. Allí, el uso de cepas nativas, aisladas de escenarios específicos, constituye un procedimiento novedoso que redundará en el diseño de protocolos para la producción de bioinoculantes útiles para sistemas agrarios sostenibles. Estos son los argumentos de un nuevo proyecto liderado desde la Universidad del Tolima, en alianza con la Universidad UNIMINUTO, la Corporación de Investigaciones Biológicas, CIB de Medellín y la empresa ZENKINOKO. La importancia de este proyecto radica en que el mismo apunta a mejorar la calidad del suelo y con ello ayudar a contrarrestar los efectos de las actividades antrópicas en un escenario de degradación de los recursos naturales.

En la actualidad existen diversas actividades humanas que contribuyen al deterioro de los suelos, dentro de las que se encuentran las relacionadas con los cambios en la cobertura vegetal como la deforestación, subsecuente a la ampliación de la frontera agrícola para el establecimiento de usos agropecuarios, y la minería. Esto, ha conllevado a efectos consecuencias directas o indirectas, que llevan al aumento de las temperaturas, las inundaciones, prolongados periodos de sequía, y aumento en el número e intensidad de los incendios, condiciones que altera el comportamiento de los ecosistemas, y ocasionan desplazamiento y extinción de las especies, y por lo tanto representa una amenaza latente con efectos irreversibles para el planeta (Arteaga y Burbano, 2018, FAO, 2020).



Los sistemas forestales y agroforestales contribuyen a la salud del suelo y adaptación al cambio climático

Así, el suelo cada vez está más sometido a condiciones cambiantes, que hacen que el establecimiento de los microorganismos y las plantas sea más difícil, y, por lo tanto, los procesos de degradación de los agroecosistemas cada vez son más evidentes ante la alteración de los procesos de reciclaje de nutrientes y la creación de bioestructura edáfica, vía reciclaje de la materia orgánica. En la actualidad, diversos estudios muestran la importancia del microbioma del suelo (Andreote y Silva, 2017, Sokol, et al 2022) y su relación con la salud del suelo y el desarrollo de las plantas, pero aún falta mucho por conocer sobre la aplicación de estos microorganismos en los diferentes sistemas agrícolas y agroforestales, y cómo estos microorganismos pueden mejorar la productividad primaria y consecuentemente la salud de los suelos. Así, es necesario entender que los sistemas agrícolas asistidos por los microorganismos, pueden ser más resistentes, y estar mejor adaptadas a las condiciones cambiantes.

Estrategias como la manipulación directa de las comunidades microbianas, la manipulación indirecta de sus funciones a través de cambios en el manejo del suelo, el uso de inoculantes microbianos como probióticos ambientales, el uso de microorganismos que promueven el

crecimiento de las plantas (PGPR), y la inoculación con comunidades que consumen N_2O o que inhiben la producción de estos GEI a través del bloqueo de la nitrificación (Jansson & Hofmockel, 2020) tienen un gran potencial para mejorar la calidad de los suelos. Por otro lado, aumentar el secuestro de carbono mediante el incremento de la cobertura arbórea, es una medida importante; especies como *Gmelina arborea* Roxb, que son frecuentemente encontradas en sistemas agroforestales y que han sido muy utilizadas en los programas de reforestación e incluso, para la recuperación de áreas degradadas, constituye una estrategia de ampliación de la cobertura forestal que contribuye a un mejor balance en la contabilidad del carbono (Almeida, 2019).

En esa línea, se necesita con urgencia un enfoque integrado que emplee mejores prácticas para el manejo sostenible del suelo y con ello apoyar la producción de plantas, mantener la biodiversidad, secuestrar carbono y aumentar la resiliencia en un clima cambiante; este proyecto busca a través del uso de microorganismos con características especiales como son la promoción de crecimiento vegetal, capacidad de crecer en ambientes con Cd^{2+} y Pb^{2+} , de fijar N_2 , de consumir N_2O y con resistencia a agroquímicos, entre otros mejorar las condiciones de crecimiento de Melina, en monocultivo o en asocio con gramíneas, para mejorar la calidad de los suelos. La evaluación en vivero y campo, de la incidencia de inóculos de microorganismos rizosféricos, en este estudio, permitirá establecer el potencial de estas cepas, como base para la formulación de un inóculo que pueda usarse a nivel comercial.

Para ello, en noviembre de 2021 se firma un contrato de recuperación contingente entre la Universidad del Tolima y FIDUPREVISORA, para ejecutar recursos de MINCIENCIAS en el

proyecto titulado “Microorganismos rizosféricos nativos como estrategia para mejorar la salud del suelo en sistemas agroforestales” en el marco del programa (87020) Productos y procesos tecnológicos con microorganismos rizosféricos para la restauración de suelos degradados en ecosistemas agroforestales y agrícolas.

Las preguntas del programa apuntan a dilucidar ¿Cuáles microorganismos, y que consorcios de ellos, están presentes en diferentes condiciones de suelos agrícolas? Y ¿cuáles de esos consorcios pueden constituir inóculos que al ser aplicados como biofertilizantes mejoren la calidad del suelo y, por tanto, ¿esto se refleja en mejores indicadores de productividad primaria y agronómica de los cultivos?

Una revisión para un estado del arte

El suelo es considerado como un organismo vivo porque alberga una diversidad de macro y microorganismos que interactúan entre sí realizando diferentes funciones en los ciclos globales de la naturaleza, constituyéndose así en uno de los ecosistemas más complejos (Mora Delgado et al, 2019; FAO, 2016, 2020) La fuente a nutrientes para el suelo, está en el dosel, constituido por diferentes especies herbáceas y arbustivas que por procesos de degradación, descomposición y flujo de nutrientes a través de la hojarasca y los organismos asociados enriquecen al componente orgánico del suelo; entre ellas, los árboles se destacan por el aporte de hojarasca y la incorporación de exsudados a través del sistema radical.

Plantar árboles se considera una herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático y una estrategia adecuada para mejorar la calidad de los suelos y minimizar la erosión. Ya sea la forestación (tierras que han estado sin bosques durante mucho tiempo) o

reforestación (establecimiento en tierras que tenían una cubierta arbórea reciente); así, los sistemas agroforestales, pueden considerarse medidas eficaces para contrarrestar emisiones de carbono, como la pérdida de biodiversidad que impacta negativamente la vida del suelo. *Gmelina arborea* es una planta de rápido crecimiento y adaptación para la revegetación, tiene un gran potencial ya pueden ser utilizadas como forraje por tener un alto valor nutritivo (Maharana et al., 2018), además puede usarse como sombrío en diferentes agroecosistemas y tienen un impacto significativo en la mejora del C orgánico, el N total y el pH del suelo, es importante fuente maderera, mostrándose como una excelente especie para secuestrar carbono en el Bosque seco tropical (Melo Cruz, 2014). Tales, especies vegetales son estimuladas al crecimiento por los procesos bioquímicos y microbiológicos que suceden en la rizosfera.

Se han reportado resultados interesantes en el crecimiento de los arboles por efecto de la inoculación de micorrizas (Artunduaga, 2018), como también la inoculación mixta de bacterias actinomicetos combinadas con HMA en especies forestales. La inoculación dual de bacterias fijadoras de nitrógeno con hongos endomicorrizógenos, ha sido también probada para el aliso negro *Alnus glutinosa* por Oliveira et al (2005), quienes evaluaron la respuesta a la aplicación conjunta de *Frankia spp.* con *Glomus intraradices*, encontrando también un efecto sinérgico cuando se comparó con los efectos individuales de esos microorganismos. Estos efectos positivos, también han sido reportado en otros estudios para *Alnus acuminata* con el uso de consorcios de microorganismos (Orozco et al., 2005; Molina et al., 2006), concluyéndose un efecto positivo de la doble inoculación para la restauración de ecosistemas degradados, pues se considera que el consorcio de bacterias

y hongos es una asociación mejoradora del suelo y clave en la revegetalización (Cervantes y Rodríguez-Barrueco, 1992). El estudio de especies leñosas sembradas con inoculo de microorganismos rizosféricos muestra algunos avances importantes. Se sabe que *A. acuminata* en sus primeras etapas de desarrollo inoculadas con tres especies de HMA (*Rhizoglyphus proliferum*, *Acaulospora mellea* y *Kuklospora colombiana*) permite, en pocos días de la siembra de la semilla, buenas infecciones en la zona rizosférica expresada en diversas estructuras propias de la actividad colonizadora, como importantes recuentos de esporas.

Los consorcios microbianos pueden contribuir con la tolerancia al estrés en las plantas, consideradas un elemento vital en las interacciones entre plantas y en suelos erosionados (Ramachandran & Radhapriya, 2016), siendo fuentes económicas y fácilmente disponibles para la mitigación de diferentes estresores bióticos y abióticos (Numan et al., 2018). Existen diversos grupos de microorganismos utilizados como inóculos que pueden optimizar el crecimiento de las plantas en condiciones cada vez más estresantes (Numan et al., 2018; Santoyo et al., 2016). La eficiencia al utilizar estos microorganismos se ha evidenciado en muchos estudios: Aguirre-Monroy et al. (2019) utilizaron plántulas de *Alnus acuminata* inoculadas con *Lysinibacillus sphaericus* encontrando este microorganismo como un buen potenciador de nutrientes y un promotor del crecimiento de las plantas para propósitos de enmienda y replantación de suelos afectados por incendios. Ramachandran & Radhapriya, (2016), inocularon un consorcio de PGPB, incluida *Burkholderia sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Azospirillum sp.*, *Paenibacillus sp.* y *Bacillus sp.* utilizado en combinación con seis especies de árboles, *Pongamia pinnata*, *Tamarindus indica*, *Gmelina*

arborea, *Wrightia tinctoria*, *Syzygium cumini* y *Albizia lebbek*, demostrando que este consorcio puede mejorar la biomasa vegetal en la restauración del suelo. Así mismo, Maharana et al. (2018) al evaluar la aplicación combinada de hongos micorrizicos arbusculares, bacterias solubilizadoras de fosfato y savia del pseudotallo de banano sobre *G. arborea* encontraron que mejoraba el vigor, la calidad de las plántulas y una mayor densidad de las raíces, lo que puede ser útil para la producción de plántulas de calidad para la siembra en el campo. También se ha encontrado que inocular con desnitrificadores reductores de N₂O en las raíces y los suelos, puede mitigar las emisiones de gases efecto invernadero de los suelos, por ejemplo, la inoculación de la soja con *Bradyrhizobium japonicum* (Itakura et al., 2013), o pastizales, con *Azospirillum* y *Herbaspirillum* (Gao et al., 2019)

En la Universidad del Tolima, hemos comenzado por conocer la diversidad microbiana (bacterias, hongos y hongos micorrizicos arbusculares) que existe en diversos suelos conservados y degradados (Vargas, 2017; Guzmán y Perdomo 2017; Coy, 2018; Devia, 2020), ya que esta información es el punto de partida para reconocer las diversas especies que están presentes en estos ambientes sometidos a perturbaciones antrópicas o naturales y que por ser tolerantes pueden ser potenciales para mejorar las condiciones de las plantas.

Es importante destacar que la gran mayoría de evaluaciones de los bioinoculantes se realiza para un solo microorganismo y una sola planta en suelo estéril, este trabajo pretende observar el efecto de los consorcios sobre Melina, sola y con otra planta, e interactuando con la comunidad microbiana presente en los suelos, para poder conocer el efecto real de los microorganismos sobre la calidad del mismo.

Referencias

- Aguirre-Monroy, A. M., Santana-Martínez, J. C., & Dussán, J. (2019). Lysinibacillus sphaericus as a nutrient enhancer during fire-impacted soil replantation. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019.
- Andreote, F. D., & e Silva, M. D. C. P. (2017). Microbial communities associated with plants: learning from nature to apply it in agriculture. *Current opinion in microbiology*, 37, 29-34.
- Arteaga, L. E., & Burbano, J. E. (2018). Efectos del cambio climático: Una mirada al Campo. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 79-91.
- Artunduaga Ruiz, C. M. (2018). Caracterización y análisis integral de la producción y de potencial nutricional de *Alnus acuminata* en la etapa inicial de desarrollo, con diferentes cepas de micorrizas vesículo arbusculares (MVA). Tesis de M.Sc Ciencias Pecuarias. Universidad del Tolima.
- Cervantes, E., & Rodríguez-Barrueco, C. (1992). 22 Relationships between the Mycorrhizal and Actinorhizal Symbioses in Non-legumes. In *Methods in microbiology* (Vol. 24, pp. 417-432). Academic Press.
- Coy-Rodríguez, V. A., Vargas-Osorio, L. J., Varón-López, M., & López-Cardona, N. (2018). Identificación de hongos y bacterias asociados a fustes de melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en el departamento del Tolima, Colombia. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 42(165), 343–352. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.771>
- Devia-Grimaldo, L. D., Pérez-Moncada, U. A. ., López-D, E. O. ., & Varón-López, M. . (2021). Hongos micorrizicos arbusculares (HMA) en bosques secos tropicales (BST) afectados por fuego y depósitos fluviovolcánicos en el departamento del Tolima, Colombia. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 45(177), 1137–1153. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1482>

- FAO, (2016). Estado mundial del recurso suelo. Alianza mundial por el suelo. Resumen técnico. Grupo técnico intergubernamental del suelo. 2015 Año internacional del suelo. Roma.
- FAO, ITPS, GSBI, CBD and EC. (2020). State of knowledge of soil biodiversity Status, challenges and potentialities, Report 2020. Rome, FAO.
- Gao, W. Q., Wang, P., & Wu, Q. S. (2019). Functions and application of glomalin-related soil proteins: a review. *Sains Malaysiana*, 48(1), 111-119.
- Guzmán Lasso, H. J., & Perdomo Useche, Y. L. (2017). Abundancia y diversidad de hongos formadores de micorrizas arbusculares asociadas a la vegetación circundante en un área de minería del municipio de Santa Isabel, Tolima.
- Itakura, M., Uchida, Y., Akiyama, H., Hoshino, Y. T., Shimomura, Y., Morimoto, S., ... & Minamisawa, K. (2013). Mitigation of nitrous oxide emissions from soils by Bradyrhizobium japonicum inoculation. *Nature Climate Change*, 3(3), 208-212.
- Jansson, J. K., & Hofmockel, K. S. (2020). Soil microbiomes and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 18(1), 35-46.
- Maharana, R., Dobriyal, M. J., Behera, L. K., & Sukhadiya, M. (2018). Enhancement of seedling vigour through biofertilizers application in gamhar (Gmelina arborea Roxb.). *International Journal of Chemical Studies* 2018; 6(5): 54-60
- Melo Cruz, O. (2014). Modelación del Crecimiento, Acumulación de biomasa y Captura de Carbono en Árboles de Gmelina arborea Roxb., Asociados a sistemas Agroforestales y Plantaciones Homogéneas en Colombia. PhD Thesis, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 148p. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Molina L, M., Medina S, M., & Orozco P, H. (2006). The effects of the interaction Frankia-mycorrhizal fungi-microelements in the establishment of Alder trees (Alnus acuminata) in tree grass systems. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 19(1), 39-48.
- Mora Delgado, J., Silva Parra, A., Escobar Escobar, N. (2019) Bioindicadores en suelos y abonos orgánicos. Universidad del Tolima, Ibagué. 120 p
- Numan, M., Bashir, S., Khan, Y., Mumtaz, R., Shinwari, Z. K., Khan, A. L., ... & Ahmed, A. H. (2018). Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: a review. *Microbiological research*, 209, 21-32.
- Oliveira, R. S., Castro, P. M. L., Dodd, J. C., & Vosátka, M. (2005). Synergistic effect of Glomus intraradices and Frankia spp. on the growth and stress recovery of Alnus glutinosa in an alkaline anthropogenic sediment. *Chemosphere*, 60(10), 1462-1470.
- Orozco, F. H., Medina, M., & Sarria, P. (2005). Aislamiento y evaluación de microorganismos endófitos de aliso (Alnus acuminata var. Acuminata). *Livestock Research for Rural Development*, 17(1).
- Ramachandran, A., & Radhapriya, P. (2016). Restoration of degraded soil in the Nanmangalam reserve forest with native tree species: effect of indigenous plant growth-promoting bacteria. *The Scientific World Journal*, 2016.
- Santoyo, G., Moreno-Hagelsieb, G., del Carmen Orozco-Mosqueda, M., & Glick, B. R. (2016). Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiological research*, 183, 92-99.
- Sokol, N.W., Slessarev, E., Marschmann, G.L. et al. Life and death in the soil microbiome: how ecological processes influence biogeochemistry. *Nat Rev Microbiol* 20, 415–430 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00695-z>