

*Artículo técnico***Microbios y tecnologías agroforestales bioinspiradas al alcance de todos****Microbes and bioinspired agroforestry technologies available to everyone****¹ Maryeimy Varón López y Jairo Mora Delgado²**¹ profesora asistente, Departamento de Biología, Universidad del Tolima, Ibagué (Colombia);² Profesor titular, Departamento de Producción Pecuaria, Universidad del Tolima, Ibagué.

jrmora@ut.edu.co

Resumen.

Iniciativas de regeneración de prácticas antrópicas basadas en la imitación de las dinámicas naturales están al orden del día bajo modelos alternativo como la agricultura regenerativa. Muchas de ellas, milenarias y recuperadas en disciplinas emergentes como la biomímesis, la agroecología, la agroforestería, el biodiseño, y últimamente valoradas en la economía circular. En los sistemas agroforestales (SAF), la esencia de las interacciones entre los árboles, el suelo y los cultivos, debe buscarse en los mecanismos bioquímicos que son gobernados por microorganismos, sea en los procesos de degradación o síntesis de los compuestos orgánicos. El objetivo de este artículo es divulgar avances de investigación realizados en la Universidad del Tolima relacionados con hallazgos y tecnologías bioinspiradas que dan cuenta del papel protagónico de los microorganismos como promotores de la transformación de la materia orgánica y la movilización de nutrientes. Algunos de ellos, se expresan en procesos como la mineralización, amonificación, nitrificación, solubilización de fosfatos y fijación de nitrógeno en el suelo, o la estabilización de la materia orgánica en prácticas de compostaje entre otros. Otros, se manifiestan en el manejo de productos y subproductos de los SAF, mediante acidificación del medio para la conservación de nutrientes, como la fermentación anaeróbica gobernada por bacterias ácido lácticas. Se concluye, que bacterias y hongos, constituyen los microtrasformadores de la materia que gobiernan la generación de nuevos productos para el consumo de la especie humana.

Palabras clave: sostenibilidad, agroforestería, pasturas, compost, suelo, economía circular

Abstract.

Regeneration initiatives of anthropogenic practices based on the imitation of natural dynamics are the order of the day under alternative models such as regenerative agriculture. Many of them, ancient and recovered in emerging disciplines such as biomimicry, agroecology, agroforestry, biodesign, and recently valued in the circular economy. In agroforestry systems (SAF), the essence of the interactions between trees, soil and crops must be sought in the biochemical mechanisms that are governed by microorganisms, whether in the degradation or synthesis processes of organic

compounds. The objective of this article is to disseminate research advances carried out at the University of Tolima related to bioinspired findings and technologies that account for the leading role of microorganisms as promoters of the transformation of organic matter and the mobilization of nutrients. Some of them are expressed in processes such as ammonification, mineralization, nitrification, phosphate solubilization and nitrogen fixation in the soil, or the stabilization of organic matter in composting practices. Others manifest themselves in the management of SAF products and by-products, through acidification of the medium for the conservation of nutrients, such as anaerobic fermentation governed by lactic acid bacteria. It is concluded that bacteria and fungi constitute the microtransformers of matter that govern the generation of new products for consumption by the human species.

Keywords: sustainability, agroforestry, pastures, compost, soils

Introducción

La agroforestería constituye una disciplina que se basa en procesos biomiméticos, es decir arreglos que imitan a la naturaleza, la provisión de alimentos y el incremento de la cobertura forestal para la resolución de problemas antropogénicos. De igual manera, otras disciplinas, como la agroecología, el biodiseño y la misma biomímesis, basan sus preceptos epistemológicos y su práctica en la emulación de diseños y procesos naturales; en estos, la interacción entre componentes vegetales leñosos, con cultivos herbáceos y animales, demuestran la eficacia energética y la provisión de servicios ecosistémicos. Todo ello, potenciando el reciclaje de materiales y energía, y configurándose en un proceso de producción de economía circular (EC) (Mora-Delgado y Bernal, 2023)

El énfasis en estas disciplinas, está en las trayectorias cíclicas de la producción, basadas en principios biológicos, que centran su atención en la optimización de los recursos naturales y su uso en la cadena alimenticia; en gran parte, estimulando el reciclaje de materia y energía, bajo el respeto a los procesos

biológicos, especialmente el entendimiento de ciclos biogeoquímicos como base para la intervención productiva (Mora et al., 2021).

En los arreglos agroforestales, la esencia de las interacciones entre los árboles, el suelo y los cultivos, debe buscarse en los mecanismos bioquímicos que son gobernados por microorganismos (Zhang et al., 2021; Araujo et al., 2012), sea en los procesos de degradación o síntesis de los compuestos orgánicos, o en la conservación de nutrientes en los productos y subproductos cosechados.

Tales microbios, pueden encontrarse actuando en diferentes zonas de interacción con la planta, como la filosfera, endosfera y rizosfera (Sokol et al., 2022) o en los sustratos en descomposición de los compostajes y los ambientes anaeróbicos, como el rumen de los animales o los biodigestores y los silos (Canales-Gutiérrez et al., 2021; Dennis, 2015).

Este artículo tiene como objetivo ilustrar el papel central de los microorganismos en la transformación de los materiales orgánicos en diferentes ambientes de un sistema agroforestal; el manuscrito, se basa en una revisión de literatura y resalta algunos

avances de investigación realizados por investigadores y estudiantes de los grupos de investigación Genética y Biotecnología Vegetal de la Universidad del Tolima, GEBIUT, y Sistemas Agroforestales Pecuarios, SAFF, de la Universidad del Tolima; además, es una invitación para profundizar en el entendimiento de las bases microbiológicas y bioquímicas que gobiernan las transformaciones de la materia y la energía en una cadena alimenticia.

Los microbios rizosféricos

En los suelos, está comprobado que el ecosistema microbiano que se encuentra en contacto con las raíces, llamado rizosfera, contiene mayor cantidad de microorganismos que el resto (Silva-Parra *et al.*, 2018). Este microambiente colonizado por la biomasa microbiana, que es la parte viviente de la materia orgánica, sin considerar las raíces de plantas ni organismos (Silva, 2019). La rizosfera es el escenario de múltiples reacciones bioquímicas mediadas por bacterias, arqueas y hongos; esta microbiota es la encargada de la transformación de los materiales orgánicos que se incorporan al suelo, a través de la mineralización e inmovilización del C y N (Philippot *et al.*, 2013); La mineralización, libera gases como el CO₂ y genera nutrientes, como el ion amonio, nitratos, o solubilizan P, S y otras formas de nutrientes (Orozco *et al.*, 2016) que serán asimilados o lixiviados a capas más profundas.

Si bien, los microorganismos juegan un rol importante en los ciclos de diferentes nutrientes, este análisis se centra en ilustrar dicho papel transformador (Figura 1), el cual tiene un importante peso en las interacciones agroforestales, dada su presencia en diferentes

analitos que se suceden en el ciclo; así, podría decirse que uno los nutrientes de mayor importancia para los sistemas productivos es el Nitrógeno. Bacterias fijadoras de nitrógeno del género *Azotobacter* y *Rhizobium*, han sido asociadas a leguminosas, representando una de las opciones de fijación simbiótica de nitrógeno que impactan el stock de este elemento en el suelo (Alcarraz *et al.* 2020).

Así mismo, la nitrificación es un proceso similar a la fijación donde un sólo grupo reducido de microorganismos lo realizan, generalmente organismos autótrofos aerobios obligados que llevan a cabo una oxidación del NH₄⁺ como donador de electrones a formas menos reducidas, principalmente el nitrito (NO₂⁻) y el nitrato (NO₃⁻) (Culchac *et al.*, 2021). Se han identificado los géneros de *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrobacter* y *Nitrococcus*, como las bacterias que realizan esta función (Castellanos *et al.*, 2014)

La desnitrificación es el último proceso del ciclo del nitrógeno, donde el nitrato (NO₃⁻) presente en el suelo es reducido por un grupo filogenéticamente diverso de microorganismos a las formas gaseosas de óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N₂O) y nitrógeno molecular (N₂) (Guzmán, 2016).

Por otra parte, la microbiota rizosférica cumple también un papel importante en la solubilización de minerales, como el P y el S. En el caso del fósforo, esta es realizada por microorganismos solubilizadores de fosfato (MSF) (Park, *et al.*, 2011), que transforman las especies insolubles en formas solubles, a través de procesos como la producción de ácidos orgánicos, fosfatasas y la quelación e intercambio de reacciones, se genera formas de

P disponibles para las necesidades de las plantas. Esta función solubilizadora de fosfatos ha sido identificada en bacterias pertenecientes al género *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Paenibacillus* y

los hongos *Penicillium*, *Fusarium*, *Beauveria*, y *Cadophora* (Vargas, 2017; Ortiz, 2021).

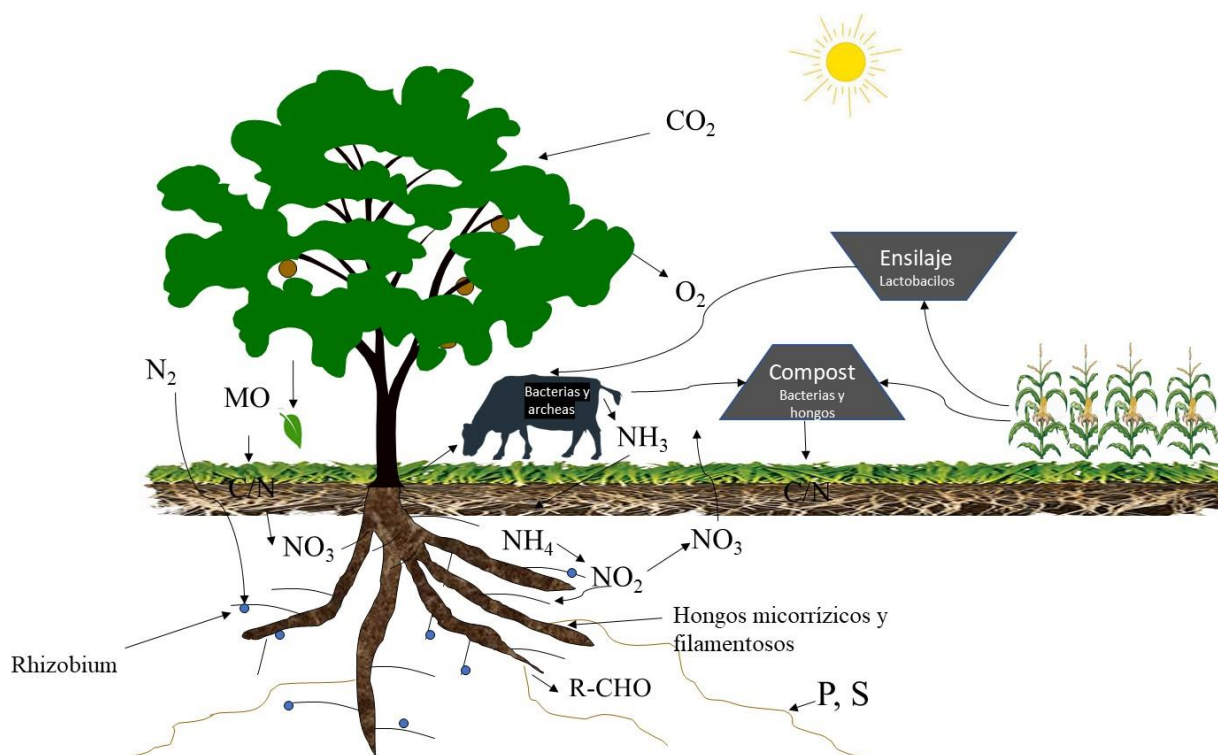


Figura 1. Interacciones agroforestales entre componentes del sistema suelo-planta animal y sus procesos de transformación por la acción de microorganismos.

Las relaciones, entre las raíces y los microorganismos, permiten un mayor acceso de nutrientes a las plantas, aumentando la fortaleza de las plantas y, por tanto, la tolerancia a plagas, enfermedades y el estrés ambiental, facilitando los estados de buena salud de las plantas y su resistencia a plagas y enfermedades, relaciones que constituyen la esencia de la teoría de la trofobiosis defendida por Chaboussou (Lassevich, 2021)

Los SAF, y entre ellos los sistemas silvopastoriles (SSP), tienen una ventaja comparativa con otros sistemas de producción,

y es que imitan las características de los ecosistemas naturales; un dosel multiestrato y con raíces profundas, minimizan las consecuencias de los cambios generados por el manejo agropecuario al proveer los árboles protección al suelo y la pastura, aportando gran cantidad de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo (Silva-Parra *et al.*, 2018) y una mayor actividad biológica. En los SAF, el suelo contiene una gran variedad de microorganismos, con una amplia diversidad de actividades metabólicas; esto, debido a la alta disponibilidad de materiales carbónicos en el suelo, tales como azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos, provenientes de la descomposición de la hojarasca y raíces

muertas, que representan una importante fuente de abastecimiento de energía para las poblaciones microbianas (Yadav *et al.*, 2011).

La microbiota cumple también un papel importante en la solubilización de minerales; en el caso del fósforo (P), es realizada por los microorganismos solubilizadores de fosfato (MSF) (Park *et al.*, 2011). Se han reportado que transforman las formas insolubles del P en formas solubles, a través de procesos como: producción de ácidos orgánicos, fosfatasa, quelación e intercambio de reacciones, se genera P disponible para las necesidades de las plantas y del suelo (Beltrán, 2014; Rico, 2009; Park *et al.*, 2011).

Estudios realizados en la Universidad del Tolima, desde suelos asociados a los cultivos de Melina, han reportado microorganismos con capacidad de solubilización de fosfatos y de fijar nitrógeno, por lo que estos podrían considerarse potenciales para la conformación de un consorcio microbiano con capacidad bioinoculante para especies forestales. Estos se han clasificado en los géneros de bacterias *Pantoea*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Pseudomonas* y *Prestia* (Devia *et al.*, 2022).

Muchos de estos organismos, especialmente los hongos filamentosos y micorrízicos, ha sido estudiados como potenciales inóculos que aplicados al suelo pueden mejorar la movilidad de nutrientes hacia las raíces de la planta, y así mejorar su estado nutricional promoviendo el crecimiento y la calidad bromatológica. Los hallazgos de Artunduaga (2018) en cuanto a la sustitución de fertilizante de síntesis química por biofertilizante micorrizado con *Glomus proliferum*, *Acaulospora mellea* y *Acaulospora*, y la revisión de Argumedo *et al.* (2022) sobre el papel de hongos filamentosos de los géneros

Trichoderma, *Penicillium*, y *Aspergillus* en la promoción del crecimiento de gramíneas, dan cuenta de estos microorganismos como base de inóculos que permiten inferir la mejora en la salud del suelo, los beneficios productivos y económicos por el uso de estos bioinsumos.

Dichas condiciones de salud del suelo constituyen la base para el desarrollo de las plantas, las cuales son la fuente de alimentos para el hombre o los animales. Una parte de esta producción será exportada en forma de alimentos o fibras para el abastecimiento de mercados; otra parte, posiblemente se reincorpore al sistema, también por la mediación de microorganismos en los procesos de compostaje.

Los microorganismos en el compost.

Los residuos orgánicos, sean residuos de cosecha, estiércoles, lavazas, entre otros, puedan tomar la vía de la estabilización de la materia orgánica, en procesos de compostaje. Estos, son prácticas de descomposición de la materia orgánica realizada por microorganismos que los materiales orgánicos en productos estables como el humus, donde se genera calor el cual inactiva los microbios patógenos presentes en estos residuos (Chen *et al.*, 2018). Estas técnicas pueden usarse para la generación de insumos con alta capacidad de agregación de las partículas del suelo (Mora-Delgado y Silva, 2018) y la retención de nutrientes que mejora la capacidad intercambio catiónico, derivada de la producción de ácidos húmicos para la formación de complejos organominerales, y la producción de sustancias de rápida descomposición de baja relación C/N (Silva Parra y Mora-Delgado, 2018).

En las compostas, se han aislado géneros del grupo de bacterias Gram negativas

(*Enterobacter*, *Escherichia*, *Morganella*, *Proteus*, y *Pseudomonas*), siendo *Pseudomonas* el género más representativo; además, se han reportado tres géneros de bacterias Gram positivas (*Arthrobacter*, *Bacillus* y *Micrococcus*), siendo el más representativo *Bacillus* (Escobar *et al.*, 2012)

Por otra parte, Los aportes del compost en la construcción de la bioestructura del suelo, principalmente consiste en el incremento de la agregación, vía la formación de una red hifal de hongos y la producción de polisacáridos extracelulares exudados por la biomasa microbiana, además del efecto mecánico (empaquetamiento) de las raíces y el rol cementante de sus exudados (Mora-Delgado y Silva, 2018; Gutiérrez, 2021)

Los hongos más frecuentes encontrados en compostajes de residuos orgánicos pertenecen a cuatro géneros (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium* y *Rhizopus*), siendo los dos primeros, los más frecuentes. Algunos de estos cumplen funciones celulolíticas (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* y *Trichoderma*) actuando sobre las estructuras más resistentes a la degradación; así, la celulosa y hemicelulosa, son degradados, más lentamente que los azúcares o el almidón; la lignina, es el residuo más resistente y, normalmente, el último producto que se degrada de la cadena alimenticia, donde son los Basidiomicetos el grupo que juega un mayor papel en su degradación (Escobar *et al.*, 2012)

El producto de la descomposición de las compostas es un abono rico en macronutrientes que pueden competir con los fertilizantes de síntesis química. La riqueza de estos elementos por la microbiota, puede atribuirse a la presencia de sustratos ricos en estos nutrientes. Un estudio que evaluó compostas preparadas

con mezclas de residuos de cosecha (pulpa de café, gallinaza, hojarasca, residuos de musáceas y estiércol de ganado) encontró que estos materiales son ricos en macro y micronutrientes; principalmente la gallinaza, la cual se considera un sustrato de alta calidad nutricional (Escobar *et al.*, 2013; Escobar *et al.*, 2012), que es activamente transformada por los microorganismos del suelo que la biodegradan siendo un importante reservorio lábil de C, N y P (Díaz, *et al.*, 1993).

Al respecto, bioensayos realizados en la Universidad del Tolima reportan la efectividad de las compostas como sustitutos de la fertilización de síntesis química. Así, se observó que el efecto de compostas preparadas con base a mezclas de materiales orgánicos lábiles con materiales brutos, ricos en lignina, sobre el cultivo de maíz y frijol fue similar a la aplicación del fertilizante químico, indicando que los abonos orgánicos son una alternativa viable y sostenible en condiciones de campo (Escobar *et al.*, 2013).

Los microbios en los ensilajes

Otros subproductos de cosecha, que generalmente no son aptos para el consumo humano, pero aun ricos en proteína, fibra y otros nutrientes podrían reincorporarse al sistema alimentario, mediante procesos de fermentación anaeróbica para conservar los nutrientes y disponerlos para el consumo animal en épocas de escases; en este proceso, también los microorganismos tienen un papel central. En los diferentes momentos de la fermentación anaeróbica, una variedad de géneros de microorganismos aparece y desaparecen en función de las variaciones de temperatura y pH. Pero son las bacterias ácido lácticas (BAL) las responsables de la acidificación del medio, el cual inhibe la proliferación de microorganismos

no deseables (*Escherichia coli*, *Streptococcus*, y *Listeria*) que podrían consumir la energía y causar proteólisis con la consiguiente reducción de la calidad del alimento (Holgúin, *et al.*, 2021; Valencia, 2016).

Por el contrario, cuando se realiza un ensilaje, se busca conseguir una concentración considerable de ácido láctico, el cual se produce como resultado de la presencia y acción de microorganismos deseables en el proceso, los que a su vez inhiben otras formas patógenas de actividad microbiana.

Algunas de las bacterias ácido lácticas (BAL) colonizan las superficies de las plantas, estas son denominadas bacterias epifitas (War Nongkhaw y Josi, 2014). Ensayos con el test de Rostock demuestran la eficiencia de estos microorganismos para inducir la acidificación del medio, lo cual es conocido como ensilabilidad de los sustratos (Holgúin *et al.*, 2018). Así, Bacterias aisladas de hojas maceradas de *Tithonia diversifolia* han sido identificadas como *Lactobacillus paracasei* y *L. plantarum*, resultando la primera como un microorganismo con un alto potencial para incrementar la tasa de reducción del pH, en ensilajes de gramíneas, además de prolongar la estabilidad, cuando el silo es expuesto al aire (Holgúin *et al.* 2021; Mendieta-Araica *et al.* 2009).

En esa cadena de reacciones bioquímicas lideradas por bacterias y hongos, los productos de cosecha o fermentados, son sometidos a procesos de degradación en los sistemas gástricos de monogástricos y poligástricos, donde los microorganismos también juegan un papel importante. Especialmente, en los rumiantes, el forraje consumido es desdoblado, tras un proceso fermentativo anaerobio, por bacterias y arqueas, que convierten los

alimentos fibrosos en ácido grasos volátiles, gas metano y proteína sobrepasante, que es el sustento de los animales.

A su vez, los alimentos proteicos de origen animal, carne o leche, podrán ser consumidos de inmediato, o ser conservados para el consumo humano diferido en el tiempo. Nuevamente, los residuos de los animales, sean estiércoles, o mortandades, serán incorporados al suelo, repitiéndose el ciclo antes descrito. Como se ve, en todo el ciclo, tanto arqueas, bacterias y hongos, aerobios y anaerobios, constituyen el ejército de microconstructores de la cadena alimenticia.

Conclusión

Los microorganismos están presentes en diferentes ambientes de un sistema agroforestal, siempre generando importantes transformaciones en la materia orgánica, que van desde la descomposición (aeróbica y anaeróbica), hasta los procesos de biosíntesis orgánica. Así, estos micro constructores son esenciales en la dinámica de los nutrientes y la energía en los diferentes eslabones *continuum* suelo-planta-animal. Este conocimiento permitirá una mayor comprensión y por tanto manipulación de los SAF. Se concluye, que bacterias y hongos, constituyen los microtransformadores de la materia que gobiernan la generación de nuevos productos para el consumo de la especie humana.

Referencias

- Alcarraz. M, Gonzales Medina, E., Heredia Jiménez, V., (2020) Azotobacter y Rhizobium como biofertilizantes naturales en semillas y plantas de frijol caupí. Avances, 22 (2), 239-251
- Araujo, A.S., Leite, L.F., Iwata, B., Andrade Lira Jr, M., Xavier, G.R., & Figueiredo, M.V (2012) Microbiological process in agroforestry systems. A review. Agron. Sustain. Dev.

- 32:215–226 DOI 10.1007/s13593-011-0026-0
- Argumedo-Delira, R.; Gómez-Martínez, M.J.; Mora-Delgado, J. (2022) Plant Growth Promoting Filamentous Fungi and Their Application in the Fertilization of Pastures for Animal Consumption. *Agronomy*, 12, 3033. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123033>
- Artunduaga Ruiz, Carlos Mario. (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. Ibagué: Universidad del Tolima,
- Canales-Gutiérrez, Ángel, Quispe-Aucca, Blanca Jacqueline, Romero-Loaiza, Ricardo, Villafuerte-Prudencio, Nazario, Ramos Pineda, Janette Rosario, Aguilar, José Martín, & Canqui-Flores, Bernabé. (2021). Design of an anaerobic biodigester model as an alternative for methane generation. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 9(2), 81-91. Epub 00 de noviembre de 2021. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2021.090200081>
- Castellanos, J. & Ramos, Y. (2014) Caracterización de bacterias oxidadoras de amonio aisladas del humedal de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Boyacá. *Revista I3+*, 3, 82-95 p.
- Chen, Z.; Kim, J.; Jiang, X. (2018) Survival of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* in animal waste based composts as influenced by compost type, storage conation and inoculum level. *Journal of applied microbiology*. 124 (5): 1311-1323. <https://doi.org/10.1111/jam.13719>
- Culchac Cuaran, L. Y. ., Estrada Marcillo, J. S. ., & Ordóñez Jurado, H. R. (2021). Cuantificación de bacterias nitrificantes en un suelo Typic melanudands en tres condiciones de uso de suelo en Pasto, Nariño, Colombia. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 22(2). https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:1424
- Devia Grimado, L.D., Gutiérrez Benavides, V.J. Varón López, M y Pulido Villamil, X. (2022). Caracterización de microorganismos promotores de crecimiento vegetal, aislados de Melina en bosque seco tropical del departamento del Tolima. XX Congreso Nacional de Suelos, Neiva.
- Dennis, O.E. (2015) Effect of Inoculums on Biogas Yield. *Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC)* 8 (2) Ver. I. 05-08 DOI: 10.9790/5736-08210508
- Escobar, N., Mora-Delgado, J. Romero, N (2013) Respuesta agronómica de *zea mays* l. y *phaseolus vulgaris* l. a la fertilización con compost. *Revista Luna Azul*, No. 37, 18-39.
- Guzmán, C,M (2016) La desnitrificación en un suelo forestal “Pinal del Zamorano”, Querétaro. Tesis de M.Sc, CINVESTAV, Mexico
- Holguín, V. A., Cuchillo, M. ., y Mora-Delgado, J. . (2021). Indicadores de estabilidad aeróbica en ensilajes de la mezcla *Tithonia diversifolia*/*Pennisetum purpureum* enriquecidos con *Lactobacillus*. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.2093>
- Holguín, V., Cuchillo-Hilario, M., Parra, J. M., & Martens, S. (2018). Assessment for ensilability of *Tithonia diversifolia* alone or with *Pennisetum purpureum* using epiphytic lactic acid bacteria strains as inocula. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 40(1), e37940. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.37940>

- Lassevich, D.D. (2021) Caracterización de tres biopreparados: Bokashi, Microorganismos Eficientes Nativos y Supermagro, y evaluación de su efecto en el rendimiento de los cultivos y en la comunidad microbiana del suelo. Tesis de Maestría, Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable, Montevideo.
- Mora - Delgado, J. y Bernal Zamudio, H. (2023). Economía Circular Biomimética (ECB): sinergias para el tercer milenio en armonía con la Naturaleza. *Revista Biomímesis* 2(5): 45-50
- Mora Delgado, J y Silva Parra, A (2018) contribuciones del compost al mejoramiento de la calidad estructural del suelo. capítulo 2. En: Mora Delgado, J., Silva Parra, A. y Escobar Escobar, N. Bioindicadores en suelos y abonos orgánicos. 1ª. Ed. -- Ibagué: Universidad del Tolima, 120 p.
- Mora MdL, Calabi-Floody M, Rumpel C. (2021) Closing Biogeochemical Cycles and Meeting Plant Requirements by Smart Fertilizers and Innovative Organic Amendments. *Agronomy*. 11(6):1158. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061158>
- Orozco C.A.L., Valverde F.M.I., Martinez T.R., Chávez B.C. y Benavides H.R. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con manzano biofertilizado. *Terra Latinoam*. 34:441-456
- Park, J. H., Bolan, N., Megharaj, M., & Naidu, R. (2011). Isolation of phosphate solubilizing bacteria and their potential for lead immobilization in soil. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2), 829-836.
- Silva Parra, A (2019). El Suelo: "Un Sistema Vivo" Capítulo 1. En: Mora Delgado, J., Silva Parra, A. y Escobar Escobar, N. Bioindicadores en suelos y abonos orgánicos. 1ª. Ed. -- Ibagué: Universidad del Tolima, 120 p
- Silva-Parra, A; Mogollón-Ortiz, Á M; Delgado-Huertas, H. (2018). Soil microbiota: Influence of different land use patterns and soil management factors at Villavicencio Oxisol, East Colombia. *Biota Colombiana*. 18(2):1-10
- Valencia Ramírez, A. F. (2016). Los ensilajes una mirada a esta estrategia de conservación de forraje para la alimentación animal en el contexto colombiano. Retrieved from <https://ciencia.lasalle.edu.co/>
- Vargas Osorio, L.J (2017) Evaluación de indicadores microbiológicos en suelos de un área impactada por la minería de oro, en el municipio de santa Isabel- Tolima. Trabajo de Grado para optar al título de Biólogo, Universidad del Tolima.
- War Nongkhaw, Fenella Mary, & Joshi, S. R.. (2014). Epiphytic and endophytic bacteria that promote growth of ethnomedicinal plants in the subtropical forests of Meghalaya, India. *Revista de Biología Tropical*, 62(4), 1295-1308. Retrieved November 17, 2023, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442014000400004&lng=en&tlng=.
- Yadav, R.S., Yadav, B.L., Chhipa, B.R., Dhyani, S.K., & Munna, R. (2011). Soil biological properties under different tree based traditional agroforestry systems in a semi-arid region of Rajasthan, India. *Agroforestry Systems*. 81:191-201
- Zhang, G.; Chu, X.; Zhu, H.; Zou, D.; Li, L.; Du, L. (2021) The Response of Soil Nutrients and Microbial Community Structures in Long-Term Tea Plantations and Diverse Agroforestry Intercropping Systems. *Sustainability*, 13, 7799. <https://doi.org/10.3390/su13147799>