

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS VILLAVICENCIO DOCUMENTO DE
TRABAJO - PROYECTO DE INVESTIGACIÓN VII CONVOCATORIA
INTERNA PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN
MODALIDAD: Proyectos FODEIN**

**RELACIÓN HORMIGAS ARRIERAS Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL
SUELO EN EL HUMEDAL EL CHARCO-OASIS, VILLAVICENCIO, META**

INVESTIGADOR PRINCIPAL.

Cindy Johanna Niño Camacho

Bióloga, Magíster en ciencias biológicas con énfasis en microbiología y biología molecular.

CC: 1.053.585.775, CvLAC:

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001605655

CO-INVESTIGADOR.

Raquel Beatriz Romero Puentes

Ingeniera Ambiental, Magíster en Ingeniería Ambiental y Doctora en Ingeniería

CC: 1.022.326.229, CvLAC:

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001165879

AUXILIARES DE INVESTIGACIÓN

Ana Maria Trujillo Ortiz, Laura Sofia Ruiz Rivera

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL GRUPO DE INVESTIGACIÓN
GESTIÓN AMBIENTAL USTA VILLAVICENCIO (GAUV); GrupLAC:

<https://scienti.colciencias.gov.co/gruplac/jsp/visualiza/visualizaagr.jsp?nro=00000000016177>

RESUMEN

Las hormigas representan un grupo taxonómico que ha sido propuesto como de los servicios ecosistémicos dado su papel en la regulación de diferentes procesos del suelo. Constituyen un componente importante de los humedales, los cuales son considerados ecosistemas estratégicos. La intención de este estudio es la de evaluar el rol de las hormigas arrieras en la prestación de servicios ecosistémicos del microbioma del suelo en un área de humedal urbano protegido del municipio de Villavicencio (Área Recreacional Humedal El Charco Oasis). Se utilizarán parámetros fisicoquímicos, biológicos y microbiológicos del suelo para evaluar servicios ecosistémicos clave tales como: provisión de nutrientes, regulación hídrica, mantenimiento de la estructura del suelo, biodiversidad y regulación climática. Se realizarán muestreos comparativos de suelo y de la comunidad microbiana en sitios con presencia-ausencia de montículos de hormigas cortadoras. Las muestras de suelos colectadas serán enviadas al laboratorio de Agrosavia para la estimación de variables fisicoquímicas del suelo. Se utilizará un Análisis de Componentes Principales ACP para identificar

los servicios ecosistémicos más asociados con la presencia de hormigas. Los resultados darán pautas para el monitoreo de los servicios ecosistémicos del suelo del humedal El Charco-Oasis.

PALABRAS CLAVE: Formicidae, microbioma, Servicios ecosistémicos, Suelo y humedal

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El mantenimiento de la sostenibilidad de los humedales urbanos en Villavicencio representa un desafío significativo frente al acelerado proceso de expansión urbana, el cual puede generar impactos irreversibles si no se gestiona adecuadamente. En estos ecosistemas, el suelo constituye un componente clave, no solo por sus propiedades físicas y químicas, sino por albergar una alta diversidad microbiana responsable de procesos fundamentales (Comerford *et al.*, 2013; Hyun *et al.*, 2022). En este sentido, la baja calidad de los suelos en la región incrementa la vulnerabilidad de los humedales a procesos de degradación, lo que puede afectar directamente el funcionamiento del microbioma del suelo y, en consecuencia, la provisión de servicios ecosistémicos esenciales (Ricaurte *et al.*, 2017).

El microbioma del suelo desempeña un papel central en la generación de servicios ecosistémicos críticos, tales como el reciclaje de nutrientes, la descomposición de materia orgánica, la regulación de ciclos biogeoquímicos y el mantenimiento de la fertilidad del suelo (Comerford *et al.*, 2013; Ellili-Bargaoui, 2021). En humedales, estos procesos son especialmente relevantes para sostener la productividad, la resiliencia y la autorregulación del ecosistema. Sin embargo, la deforestación, la desecación y los cambios en el uso del suelo asociados a la expansión urbana pueden alterar la estructura y funcionalidad de las comunidades microbianas, afectando negativamente dichos servicios ecosistémicos (Ricaurte *et al.*, 2017; Hyun *et al.*, 2022).

En este contexto, las hormigas arrieras o cortadoras de hojas (Formicidae), tradicionalmente consideradas como plagas, desempeñan un papel ecológico relevante que puede influir directamente en el microbioma del suelo (Sabattini, 2018; Sanabria *et al.*, 2014). A través de la construcción de sus nidos y la acumulación de materia orgánica en los montículos, estas hormigas modifican las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, promoviendo la actividad microbiana y alterando la dinámica de nutrientes como el carbono y el nitrógeno (Dauber *et al.*, 2001; Frouz and Jilkova, 2008; Martins *et al.*, 2022). Estos cambios pueden tener efectos significativos sobre los servicios ecosistémicos mediados por microorganismos, tales como la mineralización de nutrientes, la formación de agregados del suelo y la regulación de la biomasa microbiana (Lu *et al.*, 2019; Díaz-García *et al.*, 2022).

A pesar de la importancia del microbioma del suelo en el funcionamiento de los humedales, existe una limitada comprensión sobre cómo las interacciones biológicas, como la actividad de las hormigas cortadoras de hojas, influyen en la provisión de estos servicios ecosistémicos (Ellili-Bargaoui, 2021; Martins *et al.*, 2022). En este sentido, surge la necesidad de desarrollar enfoques que permitan evaluar esta relación en ecosistemas específicos.

Por lo tanto, la presente investigación se orienta a responder la siguiente pregunta: ¿Cuál es la relación entre la presencia de hormigas cortadoras de

hojas y la provisión de servicios ecosistémicos asociados al microbioma del suelo en el humedal El Charco-Oasis, en Villavicencio, Colombia?

OBJETIVO GENERAL

Determinar la relación entre la presencia de las hormigas arrieras cortadoras de y los servicios ecosistémicos asociados al microbioma del suelo del humedal El Charco Oasis, campus Aguas claras, Universidad Santo Tomás Villavicencio-Meta.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar la influencia de la presencia de hormigas arrieras cortadoras de hojas sobre la diversidad de microorganismos edáficos y el comportamiento de factores físicos y químicos.

Determinar la relación entre la presencia-ausencia de montículos de hormigas arrieras cortadoras de hojas y la reserva y distribución de carbono orgánico total.

Diseñar una herramienta de capacitación que permita cambiar la percepción cultural de las hormigas como “plaga” y promueva su importancia en la provisión de servicios ecosistémicos del suelo.

JUSTIFICACIÓN

Las hormigas arrieras cortadoras de hojas (géneros como *Atta* y *Acromyrmex*) han sido tradicionalmente consideradas como plagas debido a su impacto sobre la vegetación; sin embargo, esta percepción limita la comprensión de su papel ecológico en los suelos tropicales. Diversos estudios han demostrado que estas especies cumplen funciones clave como ingenieros del ecosistema, al modificar activamente la estructura y dinámica del suelo (Folgarait, 1998; Hölldobler & Wilson, 1990). En ecosistemas como los humedales, donde la dinámica biogeoquímica es altamente sensible, estas hormigas pueden generar cambios significativos en los procesos ecológicos locales.

En particular, la construcción de montículos y galerías por parte de estas especies genera cambios en variables físicas (como la porosidad, aireación y retención de humedad) y químicas (como el pH, la disponibilidad de nutrientes y el carbono orgánico total), lo que a su vez influye directamente en la composición, diversidad y funcionalidad de los microorganismos del suelo (Lavelle *et al.*, 1997; Moutinho *et al.*, 2003). Estos microorganismos desempeñan un papel clave en la provisión de servicios ecosistémicos, tales como la descomposición de materia orgánica, el ciclado de nutrientes y la estabilización del carbono, procesos fundamentales en la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres (Bardgett & van der Putten, 2014).

En el contexto del humedal El Charco Oasis, ubicado en el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás en Villavicencio-Meta, resulta fundamental comprender cómo la presencia de hormigas arrieras se relaciona con los servicios ecosistémicos mediados por el microbioma del suelo. Este conocimiento permitirá no solo identificar patrones ecológicos entre la actividad

de las hormigas y la dinámica microbiana, sino también aportar evidencia científica que contribuya a resignificar su rol ecológico, superando la visión reduccionista de “plaga” (Del Toro *et al.*, 2012).

Adicionalmente, al establecer la relación entre la presencia de montículos y la distribución del carbono orgánico total, se podrá evaluar el papel de estas hormigas en procesos de almacenamiento de carbono, relevantes en escenarios de cambio climático. Estudios previos han señalado que la actividad de macroinvertebrados del suelo puede influir significativamente en la redistribución y estabilización del carbono edáfico (Six *et al.*, 2004). De esta manera, la investigación integra componentes ecológicos, microbiológicos y socioambientales, sentando bases para el diseño de estrategias de manejo y herramientas de capacitación orientadas a la conservación del suelo y la biodiversidad asociada

MARCO TEÓRICO

Hormigas arrieras como ingenieros del ecosistema

Las hormigas arrieras cortadoras de hojas, pertenecientes a géneros como *Atta* y *Acromyrmex*, desempeñan un papel ecológico fundamental en los ecosistemas tropicales. Tradicionalmente consideradas plagas agrícolas, actualmente son reconocidas como ingenieros del ecosistema, debido a su capacidad de modificar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Folgarait, 1998; Hölldobler & Wilson, 1990). A través de la construcción de nidos y la acumulación de material vegetal, estas hormigas alteran la estructura del suelo, promoviendo procesos como la aireación, el reciclaje de nutrientes y la redistribución de materia orgánica.

Influencia de las hormigas en las propiedades del suelo

La actividad de las hormigas arrieras genera cambios significativos en las propiedades edáficas. La excavación de galerías incrementa la porosidad y mejora la infiltración de agua, mientras que los depósitos de residuos orgánicos provenientes del cultivo de hongos simbioses enriquecen el suelo en nutrientes (Lavelle *et al.*, 1997). Asimismo, se ha evidenciado que los montículos de hormigas presentan variaciones en pH, contenido de nitrógeno y carbono orgánico total, en comparación con suelos sin intervención (Moutinho *et al.*, 2003). Estas modificaciones inciden directamente en la fertilidad del suelo y en su capacidad de sostener comunidades biológicas diversas.

Microbioma del suelo y servicios ecosistémicos

El microbioma del suelo está conformado por bacterias, hongos y otros microorganismos que desempeñan funciones esenciales en los ecosistemas. Estos organismos participan en procesos como la descomposición de materia orgánica, el ciclado de nutrientes y la estabilización del carbono, contribuyendo a la provisión de servicios ecosistémicos clave (Bardgett & van der Putten, 2014). La interacción entre macrofauna edáfica, como las hormigas, y los

microorganismos genera efectos sinérgicos que pueden potenciar la actividad biológica del suelo, favoreciendo su resiliencia y productividad.

Relación entre hormigas arrieras y microbioma edáfico

Diversos estudios han señalado que la presencia de hormigas arrieras influye en la diversidad y composición de las comunidades microbianas del suelo. Los residuos orgánicos acumulados en los nidos, junto con las condiciones microambientales generadas, favorecen el desarrollo de microorganismos específicos, incluidos aquellos asociados a procesos de descomposición y transformación de nutrientes (Del Toro *et al.*, 2012). Esta relación sugiere que las hormigas no solo modifican el entorno físico, sino que también regulan indirectamente la dinámica del microbioma edáfico.

Carbono orgánico del suelo y cambio climático

El carbono orgánico del suelo es un componente clave en la regulación del clima global, ya que actúa como reservorio de carbono. La actividad de organismos del suelo, incluidas las hormigas arrieras, influye en la distribución, acumulación y estabilización de este carbono (Six *et al.*, 2004). Los montículos de hormigas pueden funcionar como microhábitats con alta concentración de materia orgánica, lo que resalta su potencial papel en procesos de secuestro de carbono del cambio climático.

Importancia socioambiental y percepción cultural

A pesar de su relevancia ecológica, las hormigas arrieras continúan siendo percibidas principalmente como plagas. Esta visión limita la implementación de estrategias de manejo sostenible que reconozcan su papel en la provisión de servicios ecosistémicos (Del Toro *et al.*, 2012). Por ello, es fundamental desarrollar herramientas de educación ambiental que promuevan una comprensión integral de su función ecológica, especialmente en ecosistemas estratégicos como los humedales.

MARCO METODOLÓGICO

El estudio se llevará a cabo en el humedal El Charco Oasis, ubicado en el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás (Villavicencio, Meta). Se empleará un diseño comparativo con dos tipos de unidades de muestreo: (1) suelos con presencia de montículos de hormigas arrieras de los géneros *Atta* y *Acromyrmex*, y (2) suelos sin presencia de estos, utilizados como control.

En cada unidad se realizará muestreo de suelo a una profundidad de 0–20 cm, con réplicas representativas. Las muestras serán transportadas bajo condiciones adecuadas para su análisis. Se determinarán variables físico-químicas como pH, humedad y carbono orgánico total.

Para el análisis microbiológico, se empleará la técnica de diluciones seriadas y recuento en placa. Se prepararán diluciones decimales del suelo en solución estéril, las cuales serán sembradas en medios de cultivo (agar nutritivo para bacterias y PDA para hongos). Posteriormente, las placas se incubarán y se realizará el conteo de unidades formadoras de colonias (UFC), expresadas como UFC/g de suelo.

Adicionalmente, se evaluará la presencia de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) mediante la extracción de esporas del suelo utilizando técnicas de separación por tamizado húmedo y decantación. Las esporas serán cuantificadas bajo microscopio y expresadas como número de esporas por gramo de suelo. De manera complementaria, se podrá estimar la colonización micorrízica en raíces mediante tinción y observación microscópica, determinando el porcentaje de colonización.

Los datos obtenidos serán analizados mediante estadística descriptiva y pruebas comparativas (t de Student o ANOVA) para identificar diferencias significativas entre suelos con y sin presencia de hormigas. Asimismo, se aplicarán análisis de correlación para evaluar la relación entre la presencia de hormigas, las propiedades del suelo, la abundancia microbiana y la densidad de micorrizas.

Finalmente, con base en los resultados, se diseñará una herramienta de capacitación orientada a resaltar el papel ecológico de las hormigas arrieras en la regulación del microbioma del suelo y los servicios ecosistémicos asociados.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la Tabla 1 que aparece a continuación, se presenta el cronograma de actividades (4) del proyecto, en un periodo de 12 meses, de los cuales los primeros 4 serán de puesta en marcha y preparación de equipos, los siguientes 10 meses corresponderán a la obtención de resultados (caracterización y análisis del microbioma del suelo) y preparación de productos e informe final.

Tabla 1. Cronograma de actividades por actividades del proyecto

Actividad	Mes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Identificación de especies de hormigas y georreferenciación de sitios de muestreo	x	x	x									
Análisis de propiedades químicas del suelo			x	x	x	x	x	x	x			
Captura de muestras en campo				x	x							
Envío y medición de variables en laboratorio					x	xx						
Análisis microbiológico de suelos				x	x	x						
Sistematización y análisis de datos (software)								x	x	x		
Elaboración y remisión de artículo de investigación								x	x	x	x	x
Presentación de resultados en eventos científicos										x	x	x

PRESUPUESTO

Tabla 2. Descripción de rubros y costo de cada actividad para la ejecución del proyecto

Entidad	Dinero	Especie	Presupuesto Proyecto	Total
Universidad Santo Tomás, Sede Villavicencio	\$ 0	\$ 0	\$ 0	
Análisis físico y químico de suelos. Laboratorio de suelos Agrosavia.	\$ 3.000.000	\$ 0	\$ 3.000.000	
Materiales e insumos	\$ 1.955.000	\$ 0	\$ 1.955.000	
Papelería.	\$ 0	\$ 0	\$ 0	
Fotocopias	\$ 0	\$ 0	\$ 0	
Auxilio de transporte	\$ 200.000	\$ 0	\$ 200.000	
Recursos bibliográficos.	\$ 0	\$ 0	\$ 0	
VALOR TOTAL DEL PROYECTO	\$ 5.155.000	\$ 0	\$ 5.155.000	

PRODUCCIÓN PROGRAMADA E IMPACTO ESPERADO

Tabla 3. Descripción de productos a obtener del proyecto

CATEGORÍA COLCIENCIAS	PRODUCTO ESPERADO	DESCRIPCIÓN
Producción bibliográfica	Artículo de investigación	1 artículo de investigación
Productos de investigación + Creación	Certificado participación eventos divulgación en de	Participación en eventos de divulgación

BIBLIOGRAFÍA

Bardgett, R. D., & van der Putten, W. H. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515(7528), 505–511. <https://doi.org/10.1038/nature13855>

Comerford, N. B., Franzluebbers, A. J., Stromberger, M. E., Morris, L., Markewitz, D., & Moore, R. (2013). Assessment and evaluation of soil ecosystem services. *Soil Horizons*, 54(1), 1–14. <https://doi.org/10.2136/sh12-10-0028>

Dauber, J., Schroeter, D., & Wolters, V. (2001). Species-specific effects of ants on microbial activity and N-availability in the soil of an old field. *European Journal of Soil Biology*, 37(4), 259–261. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(01\)01089-7](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(01)01089-7)

Del Toro, I., Ribbons, R. R., & Pelini, S. L. (2012). The little things that run the world revisited: A review of ant-mediated ecosystem services and disservices. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(8), 399–407. <https://doi.org/10.1890/110206>

Díaz-García, J. M., de la Cruz-López, K., & Navarro-Noya, Y. E. (2022). Soil microbial communities and ecosystem services: Implications for soil health. *Applied Soil Ecology*, 176, 104476. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104476>

Ellili-Bargaoui, Y. (2021). Soil microbial diversity and ecosystem functioning. *Sustainability*, 13(21), 11938. <https://doi.org/10.3390/su132111938>

Folgarait, P. J. (1998). Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: A review. *Biodiversity and Conservation*, 7(9), 1221–1244. <https://doi.org/10.1023/A:1008891901953>

Frouz, J., & Jílková, V. (2008). The effect of ants on soil properties and processes (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*, 11, 191–199. https://doi.org/10.25849/myrmecol.news_011:191

Hölldobler, B., & Wilson, E. O. (1990). *The ants*. Harvard University Press.

Hyun, S., Jung, J., & Kim, H. (2022). Urban wetland soil microbial communities and environmental drivers: A review. *Science of the Total Environment*, 806, 150522. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150522>

Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O. W., & Dhillon, S. (1997). Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, 33(4), 159–193.

Lu, X., Mao, Q., Gilliam, F. S., Luo, Y., & Mo, J. (2019). Nitrogen deposition contributes to soil acidification in tropical ecosystems. *Global Change Biology*, 25(2), 726–736. <https://doi.org/10.1111/gcb.14504>

Martins, C., Oliveira, M., & Silva, R. (2022). Leaf-cutting ants as ecosystem engineers: Impacts on soil properties and microbial communities. *Ecological Entomology*, 47(3), 345–356. <https://doi.org/10.1111/een.13125>

Moutinho, P., Nepstad, D. C., & Davidson, E. A. (2003). Influence of leaf-cutting ant nests on secondary forest growth and soil properties in Amazonia. *Ecology*, 84(5), 1265–1276.

Ricaurte, L. F., Olaya-Rodríguez, M. H., Cepeda-Valencia, J., Lara, D., Arroyave-Suárez, J., & Finlayson, C. M. (2017). Future impacts of drivers of change on wetland ecosystem services in Colombia. *Global Environmental Change*, 44, 158–169. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.04.001>

Sabattini, M. S. (2018). Hormigas cortadoras de hojas: Ecología, impacto y manejo. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 77(2), 1–10.

Sanabria, C., Lavelle, P., & Fonte, S. J. (2014). Ants as ecosystem engineers in soil systems of the Neotropics. *Applied Soil Ecology*, 84, 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.07.001>

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., & Denef, K. (2004). A history of research on the link between soil structure, biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, 79(1), 7–31. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>

•