

Las hormigas cultivan: agricultura, microorganismos y defensa en hormigas cortadoras de hojas^φ

Brenda Michael Vázquez-Martín^{1*}, Sergio Aranda-Ocampo², Juan Cibrián-Tovar¹

Introducción

Cuando se habla de agricultura, casi siempre se relaciona con campos sembrados, semillas, herramientas y personas cuidando sus cultivos; sin embargo, cultivar otro organismo como fuente de alimento no es una actividad exclusiva de los seres humanos (Schultz y Brady 2008). Algunos insectos desarrollaron formas de agricultura mucho antes que el ser humano domesticara plantas y animales. Este comportamiento evolucionó de manera independiente en distintos grupos de insectos, como hormigas, termitas y escarabajos ambrosiales (Mueller *et al.* 2005).

Uno de los ejemplos más complejos ocurre en las hormigas cultivadoras de hongos. En particular, las hormigas cortadoras de hojas de los géneros *Atta* y *Acromyrmex* han desarrollado una estrecha relación con hongos que cultivan en sus hormigueros (Dejean *et al.* 2023). Por ello, las largas filas de hormigas cargando fragmentos de hojas no representan simplemente insectos llevando alimento al nido. En realidad, gran parte de ese material vegetal será utilizado como sustrato para alimentar y mantener sus jardines fúngicos de los cuales depende la colonia (Fig.1) (Mueller *et al.* 2005; Aylward *et al.* 2012a).

^φ1 Posgrado en Fitosanidad-Entomología y Acarología, Colegio de Postgraduados, Km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, CP 56230; ² Posgrado en Fitosanidad-Fitopatología, Colegio de Postgraduados, Km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, CP 56230. *Autor para correspondencia: vazquez.brenda@colpos.mx
DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.7250>



Al igual que en los sistemas agrícolas humanos, mantener un cultivo requiere más que proporcionar alimento. Las hormigas deben conservar las condiciones de sus jardines, retirar el material contaminado y evitar que otros microorganismos invadan el hongo que les sirve como recurso principal (Currie y Stuart 2001). Para lograrlo, las hormigas recurren a la limpieza, al uso de sustancias químicas para el saneamiento y, en algunos linajes de hormigas cultivadoras, se asocian con bacterias capaces de producir sustancias antimicrobianas para proteger el cultivo fúngico (Currie *et al.* 1999; Yek y Mueller 2011).

El resultado del arduo trabajo de las hormigas es un pequeño ecosistema subterráneo donde interactúan insectos, hongos y comunidades bacterianas (Currie *et al.* 1999). La comprensión de estas relaciones no solo es de interés ecológico y evolutivo, sino también permite entender nuevos modelos para estudiar microorganismos y metabolitos con posible aplicación biotecnológica. El objetivo de este artículo es dar a conocer la estrecha relación entre hormigas jardineras *Atta mexicana*, el hongo *Leucoagaricus gongylophorus* que cultivan como alimento y las bacterias asociadas con sus colonias, y destacar la importancia de las interacciones biológicas como fuente de microorganismos con aplicaciones para el manejo de enfermedades agrícolas.



Figura 1. Obreras de la hormiga cortadora de hojas *Atta mexicana* transportando material vegetal.

Hormigas agricultoras: cultivar para sobrevivir

La agricultura en insectos no es solo una comparación curiosa con la agricultura humana. Desde una perspectiva evolutiva, varios linajes han desarrollado sistemas en los que cultivan, protegen y mantienen organismos que utilizan como alimento. En las hormigas cultivadoras de hongos esta relación surgió hace decenas de millones de años y dio origen a distintos niveles de especialización ecológica y social (Currie *et al.* 2003; Mueller *et al.* 2005). Las hormigas recolectan material vegetal fresco que transportan al nido y procesan antes de incorporarlo al jardín fúngico. Allí, el hongo transforma ese material vegetal y lo convierte en una fuente de alimento para la colonia (Currie *et al.* 2003; Aylward *et al.* 2012a).

En la hormiga *A. mexicana*, el hongo cultivado es *L. gongylophorus*. Espinoza *et al.* (2017) aislaron este hongo de los jardines de *A. mexicana* y confirmaron su identidad mediante características morfológicas y análisis molecular de la región ITS, la cual es una región del ADN ribosomal utilizada ampliamente como un marcador molecular para identificar hongos, porque suele presentar diferencias suficientes para distinguir entre géneros y especies. Espinoza *et al.* (2017) hicieron el primer reporte de aislamiento e identificación *in vitro* de *L. gongylophorus* procedente de nidos de *A. mexicana* (Fig. 2).

La relación entre las hormigas y el hongo es fundamental para el funcionamiento y la supervivencia de la colonia debido a que las hormigas cultivadoras dependen de su simbionte fúngico como fuente principal de alimento (Schultz y Brady 2008). Las hormigas proporcionan material vegetal, limpian el jardín y regulan sus condiciones internas. A cambio, el hongo degrada el sustrato vegetal y produce estructuras nutritivas que son aprovechadas por las hormigas (Aylward *et al.* 2012a; De Fine Licht *et al.* 2014). Así, el hormiguero funciona como una unidad agrícola compleja donde el éxito de la colonia depende del mantenimiento adecuado de su cultivo (Mueller *et al.* 2005).

Visto desde una experiencia agrícola, existen semejanzas sorprendentes: selección y transporte de material, preparación de un sustrato, mantenimiento del organismo cultivado, eliminación de material no deseado y protección del cultivo. Pero esta agricultura subterránea enfrenta un problema que cualquier agricultor reconocería: un cultivo también puede ser atacado por otros organismos (Currie y Stuart 2001; Mueller *et al.* 2005).

“La agricultura en insectos no es solo una comparación curiosa con la agricultura humana. Desde una perspectiva evolutiva, varios linajes han desarrollado sistemas en los que cultivan, protegen y mantienen organismos que utilizan como alimento.”



Figura 2. Jardín fúngico en el hormiguero / hongo cultivado *Leucoagaricus gongylophorus*.

¿Quién protege el cultivo de las hormigas?

Los jardines fúngicos de las hormigas son ambientes ricos en materia orgánica y, por tanto, pueden albergar microorganismos, como bacterias, levaduras y otros hongos. Algunos de estos pueden ser inofensivos e incluso útiles, pero otros representan una amenaza para el cultivo. Entre los hongos más importantes destaca el género *Escovopsis*, especializado en parasitar los jardines de hormigas cultivadoras de hongos (Mueller *et al.* 2005). La interacción entre hormigas, hongos cultivados y estos parásitos posee una larga historia evolutiva (Currie *et al.* 2003).

Una estructura clave en esta relación es la glándula metapleurale, característica de las hormigas en la parte posterior de su tórax (Fig. 3). Las secreciones de las hormigas tienen funciones de saneamiento y defensa química, ya que pueden distribuirse sobre el cuerpo de las hormigas y contribuir al control de microorganismos dentro del hormiguero (Yek *et al.* 2012). Por tanto, no sería correcto imaginar que las hormigas dependen de una única sustancia o de una única bacteria para proteger su cultivo. La defensa del hormiguero es el resultado de múltiples estrategias que incluyen mecanismos conductuales, químicos y, en algunos sistemas, microbianos, los cuales actúan de manera complementaria para limitar la entrada, establecimiento y propagación de microorganismos patógenos dentro de la colonia (Yek y Mueller 2011).



Figura 3. Glándula metapleurale señalada en una obrera de hormiga cortadora de hojas *Atta mexicana*.

Un ejército microscópico: las bacterias asociadas con las hormigas

Uno de los descubrimientos que modificó la comprensión de la agricultura de las hormigas fue que algunas hormigas cultivadoras mantienen asociaciones con bacterias capaces de producir compuestos que inhiben a otros microorganismos asociados al jardín. Currie *et al.* (1999) describieron bacterias productoras de antibióticos asociadas con estas hormigas y mostraron que podían actuar contra *Escovopsis*. A partir de este hallazgo, el sistema comenzó a entenderse como una interacción más compleja entre la hormiga, su hongo cultivado, el hongo parásito y las bacterias defensivas (Fig. 4).



Figura 4. Crecimiento microbiano asociado con una obrera de *Atta mexicana*. El desarrollo de colonias alrededor de una hormiga colocada sobre medio de cultivo destaca la presencia de microorganismos cultivables asociados con su superficie corporal.

Las bacterias no solo participan en la defensa del jardín. Pinto-Tomás *et al.* (2009) demostraron que en los jardines de varias especies de hormigas cortadoras ocurre fijación biológica de nitrógeno, un proceso mediante el cual ciertos microorganismos convierten el nitrógeno atmosférico en formas aprovechables para otros organismos. Posteriormente, Aylward *et al.* (2012b) encontraron (mediante metagenómica y metaproteómica) comunidades bacterianas abundantes en jardines de especies de *Atta*. Los genes y proteínas detectados fueron consistentes con funciones relacionadas con degradación de lignocelulosa, biosíntesis y ciclo de nutrientes. Estos resultados fortalecieron la idea de que el jardín debe considerarse como una comunidad integrada de hongos y bacterias que participa en la transformación del material vegetal.

La hormiga *Atta mexicana*: una agricultora

Aunque las hormigas cortadoras de hojas han sido estudiadas por décadas, no todas las especies se conocen a detalle. En el caso de *A. mexicana* en México, varios componentes de su sistema agrícola han comenzado a estudiarse con mayor profundidad recientemente. Uno de los primeros pasos fue confirmar la identidad del hongo cultivado. Espinoza *et al.* (2017) aislaron *L. gongylophorus* a partir de sus jardines y lo identificaron mediante características morfológicas y análisis molecular de la región ITS. Este hallazgo proporcionó evidencia directa sobre el cultivar fúngico asociado a *A. mexicana*.

En un avance reciente, Guevara-Avendaño *et al.* (2025) encontraron en los jardines fúngicos de *A. mexicana*, en condiciones controladas, que la composición bacteriana no era igual en todo el jardín, sino que variaba según los estratos o zonas del cultivo (Fig. 5). Estos resultados muestran que el jardín fúngico no constituye una masa microbiológicamente uniforme. Diferentes zonas pueden albergar comunidades bacterianas distintas, posiblemente relacionadas con procesos de sucesión ecológica y especialización espacial (Guevara-Avendaño *et al.* 2025).

Del hormiguero a la búsqueda de nuevas herramientas biológicas

Las enfermedades de las plantas son uno de los retos permanentes de la producción agrícola. El control biológico por microorganismos representa una alternativa o complemento dentro de programas de manejo integrado, particularmente cuando se buscan estrategias que permitan disminuir la dependencia de productos químicos para la protección de los cultivos (Baker *et al.* 2020; Boro *et al.* 2022).

Desde esta perspectiva, las hormigas y sus jardines fúngicos son ambientes interesantes para explorar la diversidad y las funciones de microorganismos asociados (Schoenian *et al.* 2011). La asociación descrita por Currie *et al.* (1999) constituye una prueba de que ciertos microorganismos asociados con hormigas pueden producir sustancias con actividad antimicrobiana. El conocimiento de estas interacciones ha despertado interés por explorar a las hormigas y sus ambientes asociados como fuentes de microorganismos con actividades biológicas de interés (Fig. 6). En este sentido, bacterias aisladas de la cutícula de obreras jardineras de *A. mexicana* han mostrado actividad inhibitoria *in vitro* frente a los fitopatógenos *Fusarium oxysporum* y *Alternaria alternata* (Vázquez-Martín *et al.* 2026).

“Uno de los descubrimientos que modificó la comprensión de la agricultura de las hormigas fue que algunas hormigas cultivadoras mantienen asociaciones con bacterias capaces de producir compuestos que inhiben a otros microorganismos asociados al jardín.”



Figura 5. Agricultura fúngica de *Atta mexicana* (F. Smith, 1858). Las obreras recolectan y transportan fragmentos de material vegetal hacia el interior del hormiguero, donde son procesados e incorporados como sustrato al jardín del hongo simbiote *Leucoagaricus gongylophorus*, del cual obtienen recursos nutritivos.

En consecuencia, el aislamiento y estudio de bacterias asociadas con hormigas pueden constituir un punto de partida para identificar microorganismos, enzimas o metabolitos de interés biotecnológico. Sin embargo, existe una consideración indispensable antes de pensar en cualquier aplicación agrícola.

¿Qué puede aprender la agricultura humana de las hormigas?

Las hormigas cultivadoras de hongos llevan millones de años manteniendo un sistema basado en la interacción entre diferentes organismos. No dependen de una sola estrategia para conservar sus jardines, y su éxito se basa en una combinación de comportamiento, higiene, sustancias químicas y asociaciones biológicas que ayudan a mantener estable el cultivo del que depende la colonia (Currie *et al.* 1999; Yek y Mueller 2011).

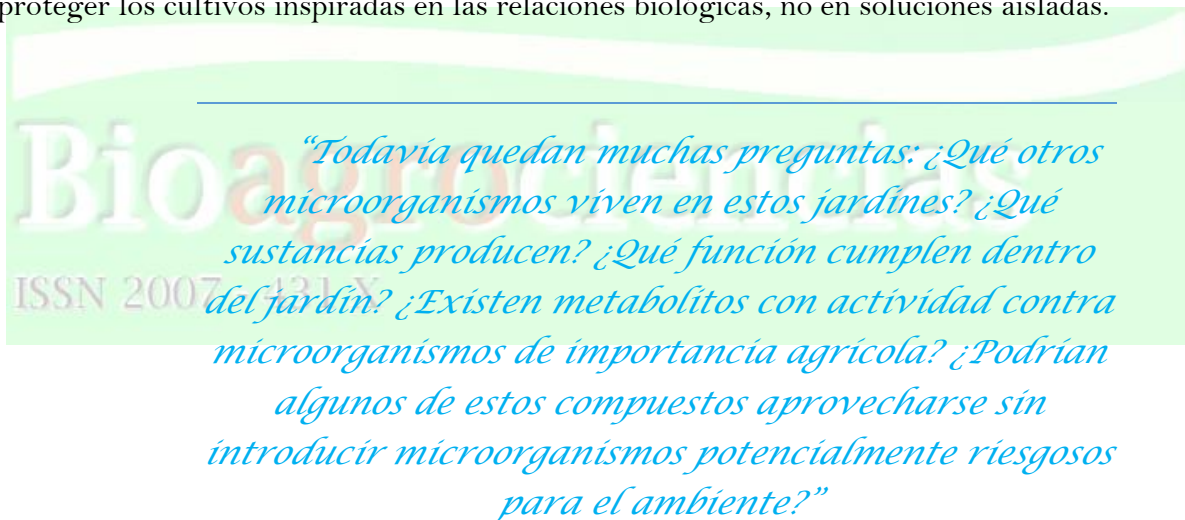
La comparación con la agricultura humana debe realizarse con cautela. Un jardín de *Leucoagaricus* dentro de un hormiguero no es equivalente a una parcela agrícola, ni las soluciones naturales pueden trasladarse directamente de un sistema hacia el otro. Sin embargo, observar estos sistemas permite formular preguntas nuevas sobre: ¿Cómo se regulan los organismos competidores? ¿Cómo reciclan nutrientes y transforman material vegetal?



Figura 6. Del hormiguero a la búsqueda de nuevas herramientas biológicas. Representación del proceso de exploración de microorganismos asociados con *Atta mexicana* (F. Smith, 1858), desde el aislamiento de microorganismos cultivables presentes en la cutícula externa de las obreras hasta la evaluación de su actividad biológica frente a hongos fitopatógenos. El estudio de estas asociaciones microbianas permite explorar su potencial para la búsqueda de nuevas herramientas con aplicaciones en el ámbito agrícola.

Algunos procesos permanecieron ocultos durante mucho tiempo. La fijación de nitrógeno demostrada en los jardines fúngicos, y la participación potencial de comunidades bacterianas en el metabolismo de la biomasa vegetal, son ejemplos de funciones que solo comenzaron a entenderse cuando estos sistemas se estudiaron desde una perspectiva microbiológica (Pinto-Tomás *et al.* 2009; Aylward *et al.* 2012b)

Todavía quedan muchas preguntas: ¿Qué otros microorganismos viven en estos jardines? ¿Qué sustancias producen? ¿Qué función cumplen dentro del jardín? ¿Existen metabolitos con actividad contra microorganismos de importancia agrícola? ¿Podrían algunos de estos compuestos aprovecharse sin introducir microorganismos potencialmente riesgosos para el ambiente? Responder estas preguntas requiere integrar entomología, microbiología, fitopatología, ecología química, química analítica y biotecnología. En ese sentido, las hormigas no ofrecen una receta directa para resolver los problemas de la agricultura humana, pero sí ofrecen un modelo natural para estudiar cómo las especies pueden interactuar, defender un cultivo, reciclar nutrientes y mantener un sistema productivo durante millones de años. La comprensión de esta agricultura subterránea puede ayudar a diseñar nuevas formas de proteger los cultivos inspiradas en las relaciones biológicas, no en soluciones aisladas.



Conclusiones

Las hormigas cultivadoras de hongos *Atta mexicana* demuestran que la agricultura no es exclusiva de los seres humanos. Estos insectos mantienen jardines fúngicos como fuente de alimento y los protegen mediante limpieza, defensa química y asociaciones con otros microorganismos. En México, *A. mexicana* representa un modelo de gran interés. Estudios recientes han identificado a *L. gongylophorus* como su hongo cultivado y han revelado la presencia de comunidades bacterianas asociadas con sus jardines. Además, bacterias aisladas de la cutícula de hormigas obreras jardineras han mostrado actividad inhibitoria *in vitro* frente

a fitopatógenos como *Fusarium oxysporum* y *Alternaria alternata*, destacando aislamientos de los géneros *Bacillus*, *Serratia* y *Acinetobacter*. Estos hallazgos muestran que la agricultura subterránea de *A. mexicana* es un sistema complejo donde interactúan hormigas, hongos y bacterias. Sin embargo, antes de considerar aplicaciones agrícolas, será necesario evaluar los mecanismos de acción, los metabolitos producidos, la seguridad biológica y la eficacia de estos microorganismos en condiciones cercanas al campo. Estudiar este sistema puede inspirar nuevas alternativas responsables para una agricultura más sostenible.

Referencias

- Aylward FO, Currie CR y Suen G. 2012a. The evolutionary innovation of nutritional symbioses in leaf-cutter ants. *Insects* 3 (1):41-61. <https://doi.org/10.3390/insects3010041>.
- Aylward FO, Burnum KE, Scott JJ, Suen G, Tringe SG, Adams SM, Barry KW, Nicora CD, Piehowski PD, Purvine SO, Starrett GJ, Goodwin LA, Smith RD, Lipton MS y Currie CR. 2012b. Metagenomic and metaproteomic insights into bacterial communities in leaf-cutter ant fungus gardens. *The ISME journal* 6 (9):1688-1701. <https://doi.org/10.1038/ismej.2012.10>
- Baker BP, Green TA y Loker AJ. 2020. Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control* 140:104095. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104095>.
- Boro M, Sannyasi S, Chettri D y Verma AK. 2022. Microorganisms in biological control strategies to manage microbial plant pathogens: a review. *Archives of Microbiology* 204 (11):666. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03279-w>.
- Currie CR y Stuart AE. 2001. Weeding and grooming of pathogens in agriculture by ants. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 268 (1471):1033-1039. <https://doi.org/10.1098/rspb.2001.1605>.
- Currie CR, Scott JA, Summerbell RC y Malloch D. 1999. Fungus-growing ants use antibiotic-producing bacteria to control garden parasites. *Nature* 398: 701-704. <https://doi.org/10.1038/19519>.
- Currie CR, Wong B, Stuart AE, Schultz TR, Rehner SA, Mueller UG, Sung GH, Spatafora JW y Straus NA. 2003. Ancient tripartite coevolution in the attine ant-microbe symbiosis. *Science* 299 (5605):386-388. <https://doi.org/10.1126/science.1078155>.
- De Fine Licht HH, Boomsma JJ y Tunlid A. 2014. Symbiotic adaptations in the fungal cultivar of leaf-cutting ants. *Nature Communications* 5:5675. <https://doi.org/10.1038/ncomms6675>.
- Dejean A, Azémar F, Naskrecki P, Tindo M, Rossi V, Faucher C y Gryta H. 2023. Mutualistic interactions between ants and fungi: A review. *Ecology and Evolution* 13 (8):e10386. <https://doi.org/10.1002/ece3.10386>
- Espinoza C, Zavala Izquierdo I, Couttolenc A, Landa-Cadena G, Valenzuela J y Trigos Á. 2017. Aislamiento *in vitro* e identificación de *Leucoagaricus gongylophorus* de un jardín de hongos de *Atta mexicana* (Hymenoptera: Formicidae). *Revista Mexicana de Micología* 46: 3. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802017000200003

- Guevara-Avendaño E, Hernández-Velázquez IM, Infante-Rodríguez DA, Martínez-Tlapa DL, Rodríguez-Sánchez IP, Valenzuela-González J y Zamora-Briseño JA. 2025. Examining the assembly of the bacterial community associated with the fungus garden of *Atta mexicana* (Hymenoptera: Formicidae): does queen origin matter? *Current Microbiology* 82(9):417. <https://doi.org/10.1007/s00284-025-04405-9>.
- Mueller UG, Gerardo NM, Aanen DK, Six DL y Schultz TR. 2005. The evolution of agriculture in insects. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 36:563-595. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.102003.152626>.
- Pinto-Tomás AA, Anderson MA, Suen G, Stevenson DM, Chu FST, Cleland WW, Weimer PJ y Currie CR. 2009. Symbiotic nitrogen fixation in the fungus gardens of leaf-cutter ants. *Science* 326(5956):1120-1123. <https://doi.org/10.1126/science.1173036>.
- Schoenian I, Spiteller M, Ghaste M, Wirth R, Herz H y Spiteller D. 2011. Chemical basis of the synergism and antagonism in microbial communities in the nests of leaf-cutting ants. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108 (5):1955-1960. <https://doi.org/10.1073/pnas.1008441108>.
- Schultz TR y Brady SG. 2008. Major evolutionary transitions in ant agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (14):5435-5440. <https://doi.org/10.1073/pnas.0711024105>.
- Vázquez-Martín BM, Aranda-Ocampo S, Cibrián-Tovar J, Segura-León OL, Salomé-Abarca LF y Luna-Martínez E. 2026. Bacterial strains isolated from the cuticle of *Atta mexicana* and their growth-inhibitory effect against two phytopathogenic fungi. *Southwestern Entomologist* 51 (3):1285-1309. <https://doi.org/10.3958/059.051.0328>.
- Yek SH y Mueller UG. 2011. The metapleural gland of ants. *Biological Reviews* 86 (4):774-791. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2010.00170.x>
- Yek SH, Nash DR, Jensen AB y Boomsma JJ. 2012. Regulation and specificity of antifungal metapleural gland secretion in leaf-cutting ants. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 279 (1745): 4215-4222. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.1458>

Vázquez-Martín BM, Aranda-Ocampo S, Cibrián-Tovar J. 2026. Las hormigas cultivan: agricultura, microorganismos y defensa en hormigas cortadoras de hojas. *Bioagrociencias* 19 (2): 128-139.
DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.7250>