

La batalla química en los cultivos de hongos de las hormigas

The chemical battle in ants' fungus gardens

Edgar Manuel Villa-Villa¹, Soledad Vázquez Garcidueñas^{1,2}
y Gerardo Vázquez Marrufo^{1,2}

1. Centro Multidisciplinario de Estudios en Biotecnología, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). 2. División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ciencias Médicas y Biológicas "Dr. Ignacio Chávez", UMSNH. Morelia, Michoacán, Mexico.

Contacto: gerardo.marrufo@umich.mx

Resumen. Millones de años antes de que la humanidad iniciara el cultivo de plantas, las hormigas ya practicaban la agricultura. En una cámara especial del hormiguero, las hormigas cultivan el micelio de un hongo al que alimentan con fragmentos de hojas frescas. Gracias a esta biomasa vegetal el hongo crece y como recompensa produce estructuras ricas en azúcares llamadas gongilidios, con las que las hormigas alimentan a sus larvas. El micelio cultivado no está libre de amenazas, ya que tiene como enemigos a otros hongos que intentan alimentarse de él. Para defender a su cultivo, las hormigas cuentan con bacterias aliadas que producen metabolitos secundarios, moléculas orgánicas que eliminan al hongo invasor. En el jardín de las hormigas se libra una auténtica batalla química. Mientras que el hongo patógeno produce metabolitos para colonizar el cultivo, las bacterias aliadas de las hormigas producen compuestos para combatirlo. La agricultura humana moderna ha imitado este modelo, incorporando el uso de bacterias y hongos para proteger a sus cultivos de microorganismos patógenos. Este modelo natural que no causa daño a la salud de las hormigas, ni a otras especies o al entorno ecológico, nos inspira a desarrollar prácticas agrícolas más armoniosas con el medio ambiente.

Palabras clave. metabolitos, micelio, mutualismo

Abstract. Millions of years before humans began cultivating plants, ants were already practicing agriculture. In a special chamber of the anthill, ants cultivate the mycelium of a fungus, which they feed with fresh leaf fragments. Thanks to this plant biomass, the fungus grows and, as a reward, produces sugar-rich structures called gongylidia, which the ants feed their larvae. The cultivated mycelium is not free from threats, as its enemies are other fungi that try to feed on it. To defend their crops, the ants rely on bacterial allies that produce secondary metabolites, organic molecules that eliminate the invading fungus. In the ant garden, a real chemical battle is waged. While the pathogenic fungus produces metabolites to colonize the crop, the ants' bacterial allies produce compounds to combat it. Modern human agriculture has imitated this model, incorporating the use of bacteria and fungi to protect its crops from pathogenic microorganisms. This natural model, which does not harm the health of ants, other species, or the ecological environment, inspires us to develop more environmentally friendly agricultural practices.

Keywords. metabolites, mycelium, mutualism

Relaciones entre los hongos y los insectos

Los hongos establecen relaciones ecológicas positivas y negativas con distintos grupos de insectos, como el parasitismo, en donde el hongo infecta al insecto y lo mata o el mutualismo, donde ambos organismos se

benefician. Una forma de visualizar estas relaciones es pensar que el parasitismo equivale a una enemistad, mientras que el mutualismo representa una amistad entre los organismos. Los ejemplos de mutualismo entre hongos e insectos son fascinantes y diversos, como resultado de procesos evolutivos de millones de años. Por ejemplo, las avispas que perforan

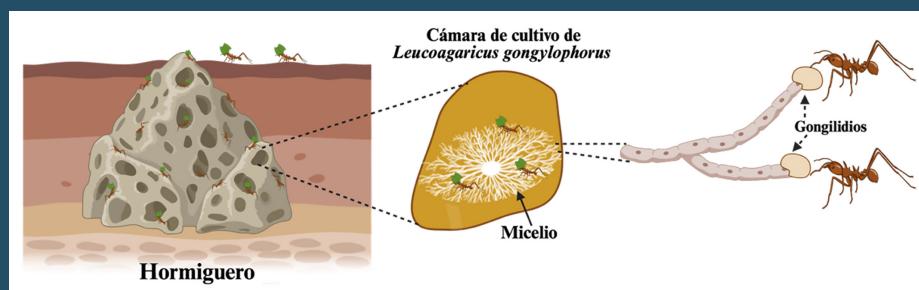


Figura 1. Cultivo del micelio del hongo basidiomicete *Leucoagaricus gongylophorus* por hormigas Attini. Las hormigas llevan forraje al hormiguero y en una cámara se lo dan al micelio del hongo. El micelio produce estructuras llamadas gongilidios ricas en azúcar, que las hormigas cosechan para alimentar a sus larvas. Creado en BioRender. Vázquez-Marrufo, G. (2025) <https://BioRender.com/ywia6gc>

troncos para construir galerías, los mosquitos y avispas que generan agallas en las hojas de las plantas, y los escarabajos que viven en la madera, han mantenido asociaciones mutualistas con distintas especies de hongos durante aproximadamente 150 millones de años. La evidencia más confiable del tiempo que tiene una asociación mutualista entre un hongo y un insecto es la relación entre los gorgojos perforadores de madera en la subfamilia Platypodinae y sus mutualistas fúngicos del grupo Ascomycota (Ophiostomatales), cuya asociación se estima en al menos 90 millones de años (Biedermann y Vega, 2020).

Las hormigas, inventoras de la agricultura

Desde hace aproximadamente 50 millones de años, distintas especies de hormigas de la tribu Attini cultivan hongos como fuente de alimento, en una relación mutualista muy particular. Estas hormigas pueden considerarse las verdaderas inventoras de la agricultura, ya que los seres humanos comenzaron a cultivar plantas de manera sistemática hace apenas alrededor de 10,000 años. Más de 240 especies de hormigas Attini cultivan alguna especie de hongo; entre ellas, algunas son "forrajeras" que colectan fragmentos de hojas frescas de distintas plantas y los transportan al interior del hormiguero (Schultz et al., 2015). Las hormigas no consumen directamente las hojas que recolectan. En cambio, cultivan en uno de los compartimentos del hormiguero el micelio de un hongo, con aspecto de una red de hilos, al que alimentan con esos fragmentos. Como respuesta, el hongo produce en ciertas zonas del micelio unas estructuras llamadas gongilidios, ricas en azúcares, que las hormigas cosechan para alimentar a sus larvas (Fig. 1).

Es importante aclarar que lo que las hormigas cultivan es el micelio vegetativo del hongo, no el cuerpo fructífero. A diferencia de la agricultura humana, cuyo objetivo es obtener el basidiocarpo, la estructura que consumimos como champiñones o setas. Las hormigas mantienen activa una colonia de micelio, que es el responsable de producir el cuerpo fructífero bajo condiciones adecuadas.

La batalla química en el jardín de las hormigas

En el "jardín" del hormiguero se lleva a cabo una verdadera batalla química en la que organismos de distintos grupos

biológicos producen metabolitos secundarios, que utilizan como verdaderas armas químicas para atacarse entre sí, o bien para proteger al hongo cultivado o a las propias hormigas. Una de las especies de hongos cultivadas por las hormigas Attini es el basidiomicete *Leucoagaricus gongylophorus*, cuyo principal enemigo son hongos del género *Escovopsis*.

Las especies de *Escovopsis* también se alimentan del micelio de *Leucoagaricus gongylophorus* y, para invadirlo, crecen sobre él e inhiben su desarrollo mediante la producción de metabolitos secundarios con actividad antifúngica. Los metabolitos secundarios, esas armas químicas que se utilizan en la batalla, son moléculas orgánicas de bajo peso molecular. Estos compuestos son diversos y pertenecen a distintos grupos químicos como terpenos-alcaloides, policétidos y piperazina. Sin embargo, las hormigas cuentan con aliados microbianos para defender a su cultivo. Uno de los más importantes es una bacteria del género *Pseudonocardia*, capaz de producir varios metabolitos de los grupos químicos péptidos y macrólidos, que tienen la capacidad de inhibir al intruso *Escovopsis* (Fig. 2).

Además, bacterias del género *Streptomyces* también producen metabolitos contra *Escovopsis* del mismo tipo que los producidos por *Pseudonocardia*, pero que son moléculas diferentes (Batey et al., 2015; Elliot et al., 2025). Estos dos géneros bacterianos pertenecen al grupo de las Actinobacterias, cuyas células son filamentos alargados.

Se han descrito otros grupos bacterianos y de hongos, incluidas levaduras, asociados a los jardines de las hormigas, que son aliados para mantener el cultivo de *Leucoagaricus gongylophorus*. Algunas de estas bacterias son transportadas en el cuerpo de las hormigas (Elliot et al., 2025). También se ha documentado que las hormigas pueden realizar un tipo de “deshierbe” similar al que se realiza en la agricultura humana, que consiste en remover físicamente otras plantas que afectan al cultivo de interés. En su caso, las hormigas identifican el micelio de *Leucoagaricus gongylophorus* gracias a los metabolitos volátiles que este produce y libera al ambiente, por lo que genera un olor característico que permite que lo distingan del micelio de los hongos patógenos, los cuales remueven

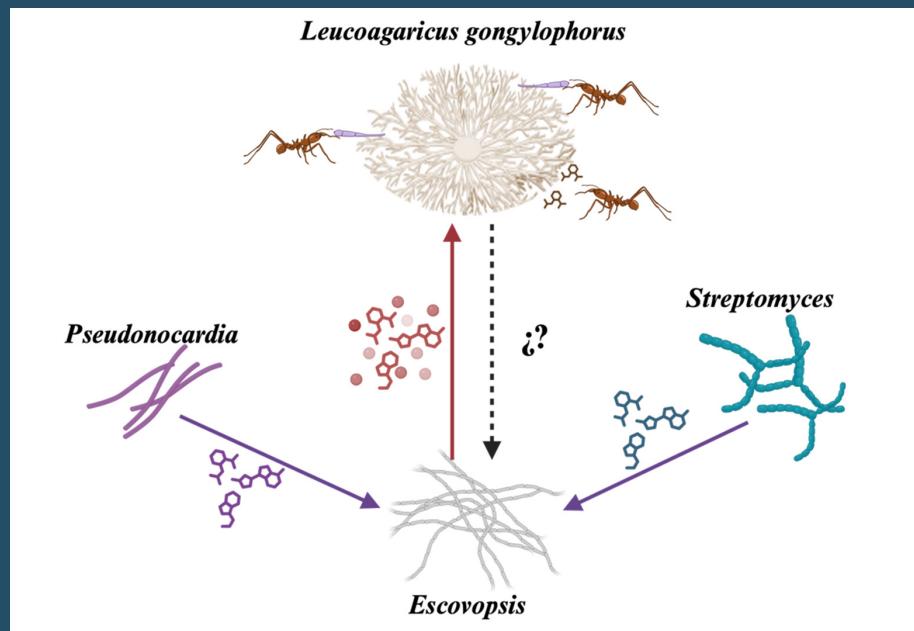


Figura 2. La batalla química en el cultivo del hormiguero. Los hongos patógenos del género *Escovopsis* producen metabolitos secundarios para atacar al cultivo de *Leucoagaricus gongylophorus*. A su vez, las actinobacterias de los géneros *Pseudonocardia* y *Streptomyces* producen metabolitos secundarios para atacar a *Escovopsis*. Las hormigas “deshierban” el cultivo quitando el micelio de los hongos que no son su alimento, al que reconocen por el olor de los metabolitos que produce. Los signos de interrogación indican que no se sabe si el micelio del cultivo produce metabolitos para defenderse del hongo patógeno. Creado en BioRender. Vázquez-Marrufo, G. (2025) <https://BioRender.com/mosk6tx>

eficientemente del jardín (Goes et al., 2020).

Lecciones de la agricultura de las hormigas

Las hormigas inventaron la agricultura muchos millones de años antes que las sociedades humanas. Ambas formas de cultivo enfrentan retos similares, como el control de plagas y patógenos. En este contexto se libra una “guerra química”, comparable a la que ocurre en la agricultura moderna, donde se utilizan compuestos químicos para controlar a hongos patógenos, que a su vez producen metabolitos para atacar los cultivos. Mientras que las prácticas agrícolas de las hormigas y sus microorganismos aliados se han conservado con éxito por millones de años, la agricultura humana ha experimentado una transición significativa en un periodo corto. En la segunda mitad del siglo pasado, el ser humano cuidó a sus cultivos casi exclusivamente con agroquímicos, pero en las últimas décadas se ha incorporado el uso de bacterias y hongos benéficos que no solo protegen a las plantas de plagas y enfermedades, sino que también promueven su crecimiento. Este cambio aumenta el parecido entre la agricultura humana y la de las hormigas, ya que al utilizar aliados naturales se evita dañar a los organismos que rodean al cultivo.

Esperamos que este cambio en la agricultura humana nos permita continuar alimentándonos de nuestros cultivos durante muchos años más, como lo han logrado las hormigas a lo largo de su historia.

Referencias

- Batey, S. F., Greco, C., Hutchings, M. I. & Wilkinson, B. (2020). Chemical warfare between fungus-growing ants and their pathogens. *Current Opinion in Chemical Biology*, 59: 172-181. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.08.001>
- Biedermann, P. H. & Vega, F. E. (2020). Ecology and evolution of insect–fungus mutualisms. *Annual Review of Entomology*, 65(1): 431-455. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-024910>
- Elliot, S. L., Montoya, Q. V., Caixeta, M. C. S. & Rodrigues, A. (2025). The fungus *Escovopsis* (Ascomycota: Hypocreales): a critical review of its biology and parasitism of attine ant colonies. *Frontiers in Fungal Biology*, 5: 1486601. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2024.1486601>
- Goes, A. C., Barcoto, M. O., Kooij, P. W., Bueno, O. C. & Rodrigues, A. (2020). How do leaf-cutting ants recognize antagonistic microbes in their fungal crops? *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8: 95. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00095>
- Schultz, T. R., Sosa-Calvo, J., Brady, S. G., Lopes, C. T., Mueller, U. G., Bacci Jr, M. & Vasconcelos, H. L. (2015). The most relictual fungus-farming ant species cultivates the most recently evolved and highly domesticated fungal symbiont species. *The American Naturalist*, 185(5): 693-703. <https://doi.org/10.1086/680501>