



LA HORMIGA CORTADORA DE HOJAS *ATTA MEXICANA* (F. SMITH, 1858) Y SU ESTRECHA RELACIÓN CON SU SIMBIONTE FÚNGICO.

Fátima Montserrat Juárez-Rivera ^{a*}, Dennis Adrián Infante-Rodríguez ^b, Suria Gisela Vásquez-Morales ^{b*}

^a Licenciatura en Biología Experimental, Departamento de Biología, División de Ciencias Naturales y Exactas, Noria Alta S/N, Guanajuato, Guanajuato, C.P. 36050, México. fm.juarezrivera@ugto.mx

^b Departamento de Biología, División de Ciencias Naturales y Exactas, Noria Alta S/N, Guanajuato, Guanajuato, C.P. 36050, México. sg.vasquez@ugto.mx

Resumen

Atta mexicana (F. Smith, 1858), también nombrada hormiga chicatana, hormiga de San Juan u hormiga arriera, es una especie perteneciente a la tribu Attini, conocida principalmente por su actividad forrajera y por participar en una interacción mutualista obligada con el hongo *Leucoagaricus gongylophorus* (A. Möller) Singer. Si bien esta relación ha existido por millones de años, es poca la información sobre la interacción entre ambas especies. En esencia, se tiene registrado que *A. mexicana* no forrajea hojas para el consumo propio, si no para el cultivo y crecimiento del hongo que hace función de su hogar y fuente de alimento. Este hongo se encarga de degradar el material vegetal y desarrollar en sus hifas estructuras llamadas gongilidios, que es el alimento principal de las hormigas. En el presente artículo se realiza una breve descripción sobre la interacción hormiga-hongo y sus implicaciones ecológicas, detallando el comportamiento de forrajeo de *A. mexicana*, la importancia de *L. gongylophorus*, así como el establecimiento y mantenimiento del hongo por parte de la hormiga. En el laboratorio de botánica e invertebrados, se pudieron establecer algunas preferencias sobre el material vegetal, observando favoritismo hacia hojas blandas y frescas, además de estudiar de manera general el establecimiento del hongo, dando prioridad a las diferentes condiciones que favorecen el desarrollo de los nidos. Finalmente, la información recopilada nos permite explorar el comportamiento de *A. mexicana* y su importancia en la interacción hormiga-hongo, siendo un inicio hacia su estudio ecológico.

Palabras clave: Hormiga forrajera; Mutualismo; Gongilidios.



THE LEAFCUTTER ANT *ATTA MEXICANA* (F. SMITH, 1858) AND THE CLOSE RELATIONSHIP WITH ITS FUNGAL SYMBIONT.

Abstract

Atta mexicana (F. Smith, 1858), also known as chicatana ant, San Juan ant, or forager ant, is a species belonging to the tribe Attini, mainly known for its foraging activity and for engaging in an obligate mutualistic interaction with the fungus *Leucoagaricus gongylophorus* (A. Möller) Singer. Although this relationship has existed for millions of years, there is little information on the interaction between the two species. In essence, *A. mexicana* does not forage leaves for its direct consumption but for the cultivation and growth of the fungus that serves as its home and food source. This fungus is responsible for degrading the plant material and developing structures called gongylidia, which is the principal food of the ants. In this paper, we will briefly describe the ant-fungus interaction and its ecological implications, detailing the foraging behavior of *A. mexicana*, the importance of *L. gongylophorus*, plus the establishment and maintenance of the fungus by the ant. In the botany and invertebrate's laboratory, we discovered some preferences on the plant material, heeding favoritism towards soft and fresh leaves, in conjunction with broadly studying the establishment of the fungus, prioritizing the different conditions that favor the growth of the nests. Finally, the information gathered allows us to explore the *A. mexicana* behavior and its influence on the ant-fungus interaction, being a start for their ecological research.

Keywords: Leaf-cutting ant; Mutualism; Gongylidia.



1. Introducción

1.1 *La hormiga Atta mexicana.*



Figura 1. a) Hormigas obreras de *Atta mexicana*. b) Morfología general de una hormiga obrera de *A. mexicana*.

Usualmente en parques, zonas urbanas o cerca de nuestras viviendas existen una gran diversidad de insectos que despiertan nuestra curiosidad; por ejemplo, aquellas hormigas que durante las últimas horas de luz se observan marchando en fila llevando pequeños fragmentos de hojas, flores o semillas hacia su nido, pero ¿qué hacen con ese material vegetal? Muchos se toman la libertad de imaginar que es su fuente de

alimento, lo cual no es del todo cierto. En realidad, forman parte de una relación mucho más compleja de lo que podemos imaginar.

Si la hormiga que observamos es de un color rojizo, con tres pares de picos en su dorso y de una cabeza con diminutas extensiones similares a cuernos, es muy probable que se trate de *Atta mexicana* (Fig. 1), también conocidas como hormiga chicatana, hormigas de San Juan u hormiga arriera. Esta hormiga



es conocida por su actividad forrajera (Espinoza *et al.*, 2017), de ahí que siempre la veamos tomando trozos de hojas, semillas y frutas.

Por otro lado, es poco conocido que la especie mantiene una relación estrecha con un hongo llamado *Leucoagaricus gongylophorus*, el cual cumple el papel de ser fuente de alimento y refugio para la especie (Espinoza *et al.*, 2017) (Fig. 2).

Es probable que esta información no luzca muy impresionante hasta ahora, sin embargo, este escrito tiene la finalidad de despertar su curiosidad hacia estos organismos y la interacción que protagonizan.

2. Interacción hormiga-hongo.

En términos biológicos, la relación entre *Atta mexicana* y *Leucoagaricus gongylophorus* es descrita como un mutualismo obligado (Espinoza *et al.*, 2017). Este se define como una relación entre dos especies, donde ambas reciben un beneficio directo; si alguna de las especies involucradas llega a desaparecer, ocasiona la extinción de la otra, es decir, una especie no puede vivir sin la otra (Pérez, 2007).

Para esta relación hormiga-hongo, *A. mexicana* tiene la habilidad de mantener a *L. gongylophorus* en buenas condiciones mediante la secreción de componentes antibacteriales y antimicrobianos, facilitando su desarrollo y protección ante microorganismos patógenos (Espinoza *et al.*, 2017). Asimismo, se documenta que la interacción debió iniciar con la colecta de restos vegetales o plantas marchitas por parte de las hormigas, con las cuales preparaban



Figura 2. Nido de *Atta mexicana* con trozos de pétalo de hibisco (*Hibiscus rosa-sinensis*) en la superficie.

una clase de composta que utilizaban para el cultivo del hongo (Hölldobler *et al.*, 2011).



Gracias a millones de años de evolución, *A. mexicana* fue desarrollando la habilidad de cultivar a *L. gongylophorus* utilizando clones de este, provenientes del nido de origen de cada reina (Maya Yescas, 2022). Es así como *L. gongylophorus* se mantiene en una fase asexual, perdiendo con el tiempo su capacidad de reproducirse sin la ayuda de las hormigas (Maya Yescas, 2022).

Algunos científicos han observado mediante cultivo *in vitro* que, ante la ausencia de *A. mexicana*, el hongo demora meses en crecer, comparándolo con los pocos días que tarda su crecimiento bajo el mantenimiento de las hormigas (Espinoza *et al.*, 2017). Esto comienza a tomar sentido si pensamos que esta relación especial ha estado en marcha durante más de 50 millones de años (Ness *et al.*, 2010).

2.1 Hongo simbiote, su uso como nido y fuente de alimento.

Hasta el momento se ha abordado como *L. gongylophorus* se puede beneficiar de la interacción con *A. mexicana*, pero ¿cómo hace el hongo para alimentar a las hormigas? Lo que se describe en la literatura es un comportamiento mayormente instintivo, donde la hormiga se alimenta del hongo y por

lo tanto, debe forrajear las hojas y llevarlas hacia su nido (Khayat, 2023) (Fig. 2).

Con el material vegetal colectado, las obreras preparan una clase de pulpa, masticando las hojas con sus mandíbulas y añadiendo gotas fecales que contienen distintas enzimas (Vigueras *et al.*, 2017). Estas enzimas son aquellas que ayudan a iniciar la degradación del material vegetal y son obtenidas en el momento que las hormigas ingieren el alimento producido por el hongo: los gongilidios.

2.1 Gongilidios, una adaptación evolutiva del hongo simbiote para su coexistir con las hormigas.

Los gongilidios son hifas especializadas que forman parte del hongo y al mismo tiempo son el principal alimento de las hormigas. Por lo general, tienen una forma alargada y delgada con una apariencia que puede variar desde cilíndrica hasta tubular (Leal-Dutra *et al.*, 2023) (Fig.3).



Los gongilidios son abundantes en azúcares, proteínas y enzimas -degradadoras de toxinas vegetales, polisacáridos y proteínas-, al consumirlos, las hormigas asimilan estos compuestos para utilizarlos al momento de iniciar la degradación del material vegetal

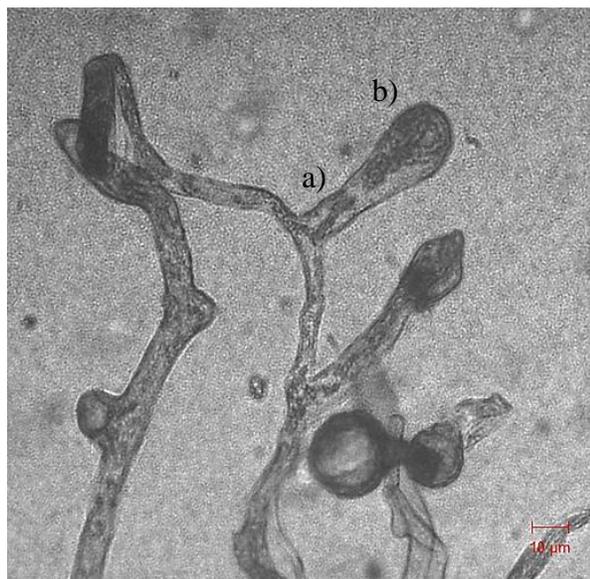


Figura 3. Estructura general de los gongilidios. a) Filamento; b) Bulbo.

(Vigueras *et al.*, 2017), así como para participar en el proceso de degradación de algunos metabolitos secundarios vegetales que pueden tener efectos nocivos en el hongo, o ser tóxicos para las hormigas (Khayat, 2023).

Es conocido que los gongilidios forman parte de los millones de años que ha evolucionado esta interacción, destacando su papel fundamental como fuente de alimento. Es así

como surge la pregunta: ¿cómo crea el hongo estos gongilidios? Estudios recientes muestran que todo inicia con la formación de vesículas de tamaño nanométrico -una millonésima parte de un milímetro-, donde se encapsula material como proteínas, azúcares, enzimas, y otros compuestos celulares. Estas enzimas contenidas son aquellas que ayudan a iniciar la degradación de material vegetal (Leal-Dutra *et al.*, 2023).

Finalizada la encapsulación, el material queda almacenado como gongilidios. De este modo, se obtiene una estructura dividida en dos partes: un bulbo que contiene todos los nutrientes almacenados y el filamento, que funciona como su sostén (Leal-Dutra *et al.*, 2023) (Fig. 3). Esta estructura correspondería a una descripción individual, ya que usualmente son observados en forma de racimo (Leal-Dutra *et al.*, 2023).

3. Fundación del nido por las reinas aladas.

Todo comienza con el abandono del nido madre por parte de las hembras y su posterior fecundación por los machos alados durante el vuelo nupcial, donde la hembra vuela durante la madrugada y es fecundada por diversos machos, pero por una única vez en su vida (Hölldobler *et al.*, 2011). Este evento sucede



durante la época de lluvias, generalmente entre los meses de mayo y junio. Es destacable mencionar que los machos alados perecen terminada la fecundación (Hölldobler *et al*, 2011).

establecido, comenzará la puesta de huevos fértiles para generar la primera camada de obreras (Fig. 4) (Hölldobler *et al*, 2011).

Las primeras obreras en eclosionar serán las encargadas de iniciar el cuidado del hongo y

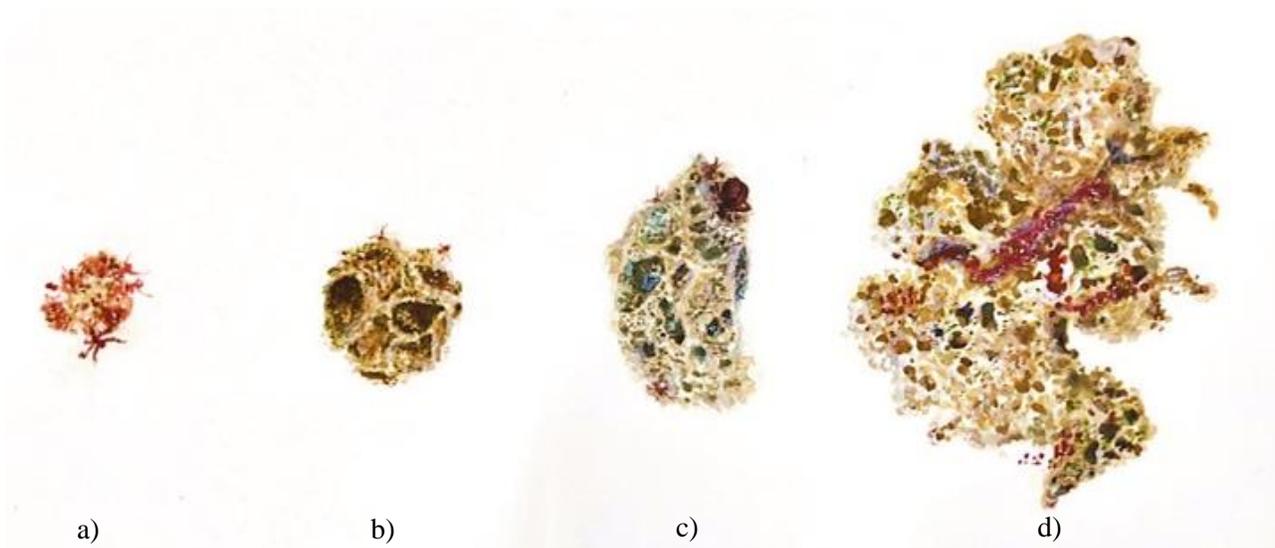


Figura 4. Esquema de la fundación del nido en *Atta mexicana*. a) Primera camada de obreras; b) Colonia establecida, marca el inicio del forrajeo; c) Nido a los seis meses; d) Nido mayor a un año.

La hembra fecundada buscará un sitio ideal para la fundación de su nido, excavando un refugio subterráneo de 20 a 30 centímetros de profundidad conocido como cámara claustral, de la cual nunca volverá a salir (Hölldobler *et al*, 2011). Es ahí donde expulsará el micelio almacenado en una cavidad bucal especial llamada micangio, e iniciará su mantenimiento, utilizando huevos infértiles para mantener la humedad en el hongo y alimentarse (Hölldobler *et al*, 2011). Una vez

las pupas, mientras que la reina comenzará a incrementar la puesta de huevos, siendo la única actividad que realizará por el resto de su vida (Hölldobler *et al*, 2011). Sin embargo, en condiciones de laboratorio se observa que el inicio del forrajeo no es instantáneo, ya que es necesario el paso de uno o dos meses para que se establezca la colonia y así poder dar lugar a la camada de obreras mayores o forrajeras, responsables de coleccionar las hojas, semillas, flores y frutos. En el laboratorio no



se pudo definir una cantidad de tiempo exacto para el inicio del forrajeo, resultando muy dependiente del comportamiento de cada nido.

Con estas bases establecidas, las hormigas obreras son capaces de crear túneles y diferentes cámaras bajo tierra que ayudan a mantener el hongo organizado y limpio (Khayat, 2023).

3.1 Cuidado de nidos en laboratorio.

En el Laboratorio de Botánica e Invertebrados del Departamento de Biología, División de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad de Guanajuato, se inició la cría de *A. mexicana* durante el año 2023 así como la fundación de nidos experimentales colectados en la capital de Veracruz, Xalapa y el estado de Guanajuato, específicamente en la capital y Silao. Estos nidos permiten la exploración sobre su biología, interacciones ecológicas y microbioma, además de la búsqueda de estrategias para el manejo integrado de estas hormigas que son consideradas plagas agrícolas.

Gracias a la experiencia obtenida durante un año en la cría de hormigas arrieras en laboratorio, podemos decir que la

organización del nido depende de su tamaño. En nidos con hongos jóvenes -1 a 6 meses- la camada de pupas se encuentra generalmente a simple vista en la superficie del hongo, mientras sus desechos por lo general son acumulados a centímetros a distancia. En el caso de nidos con hongos más desarrollados -7 meses a un año-, es necesario utilizar varios recipientes de mayor tamaño que permitan una mejor organización del nido y favorecer el crecimiento del hongo. Así, cada uno de los recipientes cuentan con un destino muy específico, ya sea contener el hongo, desechos o como área de forrajeo (Fig. 5).

En laboratorio se busca tener ciertas condiciones controladas, como el fotoperiodo de 12:12 hrs, el cual consiste en tener doce horas de luz y doce horas de oscuridad, con una temperatura mínima de 25°C y una humedad de 50%.

Las hormigas cuentan con una gran organización y limpieza, por lo que en laboratorio es importante cuidar el estado de los alimentos dentro de los recipientes y mantener una limpieza dentro de los mismos, esto debido a los altos niveles de humedad que pueden promover el crecimiento de hongos no deseados, y perjudicar los nidos.



Figura 5. a) Recipientes del nido de *Atta mexicana*. En un orden de izquierda a derecha se encuentra el nido, la cámara de desechos y el recipiente para alimento. b) Nido de *Atta mexicana* con material vegetal procesado en la superficie del hongo.

En cuanto a su alimentación en laboratorio, las hormigas cuentan con una dieta basada en avena (*Avena sativa*), cereal de maíz libre de azúcares (cereal comercial Corn Flakes de Kellogg's), hojas de buganvilia (*Bougainvillea spectabilis*), hojas y pétalos de rosa (*Rosa spp.*) y pétalo de hibisco (*Hibiscus rosa-sinensis*). Debido a la humedad, los alimentos como el cereal y la avena pueden descomponerse y desarrollar hongos no deseados, por lo que se procura mantener siempre una limpieza y cambio constante de estos. El material vegetal, por su

parte, puede ser seleccionado, aceptado y/o rechazado por la misma hormiga, siendo necesario retirar el material desechado con la finalidad de mantener el nido en óptimas condiciones.

4. En busca del material vegetal perfecto.

Hasta ahora se conoce que las hormigas requieren de material vegetal como parte de la interacción hormiga-hongo, pero no necesariamente de cualquier tipo. De manera general, existe una preferencia hacia hojas frescas, con alto contenido de nutrientes,



humedad y de consistencia blanda, siendo fáciles de cortar, aunque en vida silvestre las hormigas tenderán a forrajear la especie útil más abundante en un radio de 100 metros, que es la distancia máxima recorrida reportada hasta el momento (Khayat, 2023).

Otro aspecto interesante es la química de la planta. La mayoría de las especies vegetales cuentan con metabolitos secundarios que las ayudan a protegerse de depredadores, uno de ellos son los compuestos insecticidas y antifúngicos (Araújo *et al.*, 2022). Es así como las plantas con esta clase de compuestos como fenoles, alcaloides y terpenos tenderán a ser rechazados por las hormigas (Ness *et al.*, 2010).

De igual manera, es importante destacar que este rechazo puede ser tardío (Herz *et al.*, 2008). Inicialmente las obreras forrajea material vegetal que les resulte aceptable y lo llevan hacia su nido, el cual puede causar un daño estando en el hongo o inclusive hacia las hormigas debido a los metabolitos secundarios que llegue a contener la planta, esto las conduce a desarrollar un aprendizaje temporal de rechazo hacia la planta, el cual puede tener una duración de 2 meses (Herz *et al.*, 2008).

4.1 Degradación del material vegetal.

Una vez que la hormiga haya seleccionado y forrajado su material, es momento de llevarlo al nido con la ayuda de su mandíbula y comenzar la preparación del material vegetal, teniendo como producto una especie de pulpa que será colocada en la superficie del hongo (Fig. 5).

Esta pulpa es la que será degradada por el hongo, utilizando las enzimas necesarias y consumiendo una parte de los carbohidratos portados por la pulpa, mismos que sirven como materia prima para el desarrollo de los gongilidios (Vigueras *et al.*, 2017).

4.2 Selección de material vegetal en laboratorio.

Gracias a la observación del forrajeo en laboratorio, se han logrado conocer algunos comportamientos al momento de seleccionar la hoja. La principal es la preferencia hacia hojas frescas y de consistencia blanda o tierna, así como un rechazo hacia las plantas con aromas fuertes, tricomas o con cierta dureza. Curiosamente, no todas las hormigas aceptarán una misma especie vegetal. Un ejemplo de ello sucedió con la flor de hibisco (*Hibiscus rosa-sinensis*), donde varias



hormigas aceptaron inmediatamente los pétalos, procesando la hoja y colocándola en el hongo (Fig. 2) mientras que otras tendieron a no forrajearla, indicando cierto rechazo.

Por otro lado, se registró que no todas las partes del material vegetal son aceptadas. En el caso de la buganvilia (*Bougainvillea spectabilis*), la flor tiende a no ser forrajada e incluso ser alejada del nido, al igual que los tallos maduros. Los tallos tiernos suelen ser segmentados por las hormigas y colocados en la superficie del nido. Este mismo comportamiento se repite con las hojas frescas de rosa (*Rosa x alba*).

5. Conclusiones.

Atta mexicana es una de las hormigas forrajeras más abundantes de América, pero con pocos estudios sobre su biología. Del mismo modo, forma parte de una de las interacciones mutualistas más complejas y probablemente antiguas que se puedan conocer.

L. gongylophorus y *A. mexicana* aún tienen mucho por revelar sobre su interesante interacción hormiga-hongo, como pueden ser mecanismos de comunicación, la posible

interacción con otros insectos o los distintos beneficios que el nido puede dar a su hábitat.

Este artículo forma parte de los inicios para comprender su relación, ya que existen demasiados factores que son y pueden ser investigados. Con el trabajo presentado hemos podido obtener información valiosa sobre el establecimiento de nidos, aparición de castas y comportamiento. Sin embargo, aún queda mucho camino por recorrer, siendo un campo interesante el estudio de ciclo de vida, el impacto de la especie como insecto plaga y su posible control en zonas agrícolas por medio de controles naturales, como se realiza en el Laboratorio de Botánica e Invertebrados del Departamento de Biología de la División de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad de Guanajuato

Referencias bibliográficas

Araújo, S., Seibert, J., Ruani, A., Alcántara-de la Cruz, R., Cruz, A., Pereira, A., Zandonai, D., Forim, M., Silva, M.F., Bueno, O., y Fernandes, J. (2022). The Symbiotic Fungus *Leucoagaricus gongylophorus* (Möller) Singer (Agaricales, Agaricaceae) as a Target Organism to Control Leaf-Cutting Ants. *Insects*, 13(4), 359.



- Espinoza, C., Zavala Izquierdo, I., Couttolenc, A., Landa-Cadena, G., Valenzuela, J., y Trigos, Á. (2017). *In vitro* isolation and identification of *Leucoagaricus gongylophorus* from *Atta mexicana* (Hymenoptera: Formicidae) fungal garden. *Revista Mexicana de Micología*, 46, 3-8.
- Herz, H., Hölldobler, B., y Roces, F. (2008). Delayed rejection in a leaf-cutting ant after foraging on plants unsuitable for the symbiotic fungus. *Behavioral Ecology*, 19(3), 575-582.
- Hölldobler, B., y Wilson, E. O. (2011). *The leafcutter ants: civilization by instinct* (First edition). W.W. Norton.
- Khayat, R. O. (2023). The interplay between leaf-cutter ants behaviour and social organization. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, 10, 225-231.
- Leal-Dutra, C. A., Yuen, L. M., Guedes, B. A. M., Contreras-Serrano, M., Marques, P. E., y Shik, J. Z. (2023). Evidence that the domesticated fungus *Leucoagaricus gongylophorus* recycles its cytoplasmic contents as nutritional rewards to feed its leafcutter ant farmers. *IMA Fungus*, 14(1), 19.
- Maya Yescas, M. E. (2022). Crecimiento de *Leucoagaricus gongylophorus*, simbiote de *Atta mexicana*, usando sustratos lignocelulósicos y la detección de enzimas lignocelulolíticas [Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana].
- Ness, J., Mooney, K., y Lach, L. (2010). Ants as mutualists. *Ant Ecology*, 97-114.
- Pérez, V. A. (2007). La importancia del mutualismo para la conservación biológica. Herreriana. *Revista de Divulgación de La Ciencia*, 3(2), 2-3.
- Vigueras, G., Paredes-Hernández, D., Revah, S., Valenzuela, J., Olivares-Hernández, R., y Le Borgne, S. (2017). Growth and enzymatic activity of *Leucoagaricus gongylophorus*, a mutualistic fungus isolated from the leaf-cutting ant *Atta mexicana*, on cellulose and lignocellulosic biomass. *Letters in Applied Microbiology*, 65(2), 173-181.