



Foto © Mark W. Moffett/Minden Pictures

La agricultura ¿un invento humano?

Sari Tanikawa Obregón

Las pioneras de la agricultura:

Se llama agricultura a la actividad humana con la que se interviene en un ecosistema con el fin de obtener un beneficio alimenticio. La agricultura es la base de la expansión de grandes civilizaciones como la egipcia y la hindú, que cultivaban principalmente trigo y cebada hace más de 10,000 años. Esta actividad permitió al ser humano moderno poblar la mayor parte del planeta; con ella se pretende mejorar y aumentar la producción de una especie vegetal, ya sea preparando la tierra o creando condiciones ambientales favorables para su cultivo. Eso es exactamente lo que las hormigas del género *Atta* y *Acromimex* hacen en sus hormigueros desde hace 50,000 años. De hecho, algunos científicos afirman que ellas ¡son las inventoras de la agricultura! Este comportamiento les permite alimentar de forma eficaz a los miles y miles de individuos que conforman las colonias, y les ha posibilitado expandirse por todo el continente americano, por lo que se les considera los insectos sociales con más éxito en términos de adaptación.

¿Por qué podemos hablar de agricultura en el caso de las hormigas?

A estas hormigas agricultoras del género *Atta*, junto con *Acromymex* se les conoce también como hormigas cortadoras de hojas. ¿Quién no ha visto alguna vez un pequeño desfile de hojitas en un jardín o un bosque? Una hilera interminable de hormigas llevando pedacitos de plantas hasta su nido bajo tierra. Pero esas hojas no les sirven de alimento, son el sustrato para cultivar un hongo en el interior del hormiguero, el cual sí es su alimento principal y por ello su cultivo es el centro de su actividad.

La relación entre el hongo y las hormigas conlleva beneficios mutuos pues es necesaria para ambos, podemos calificarla como una interacción simbiótica mutualista. Se calcula que esta simbiosis se originó hace más de 50,000 años, mucho antes de que el ser humano diera visos de cultivar algo; por ese entonces las hormigas empezaron a “domesticar” este hongo de la familia de los basidiomicetos. Esta actividad se perfeccionó con el tiempo. Las hormigas desarrollaron diferentes técnicas para cultivar, cuidar sus parcelas y finalmente alimentarse del fruto de sus esfuerzos como todo agricultor; el hongo, por su parte, puede desarrollarse en condiciones ideales porque no sobrevive fuera del nido.

Las agricultoras

Las colonias de hormigas pueden albergar millones de individuos organizados en castas: la reina, las jardineras que cuidan las larvas y limpian las parcelas, las trabajadoras que se ocupan del forrajeo y las soldados, que se ocupan de proteger el nido, todas constituyen una “sociedad agrícola”, y los machos tienen una función únicamente reproductiva. Cada individuo de la colonia tiene una tarea específica que realiza junto con el resto para mantener la colonia en buen estado, protegerla de los enemigos e impedir la deshidratación y desnutrición del hongo, y esto requiere una comunicación eficaz. Esta especie de insectos se encuentra únicamente en el continente americano, principalmente en Brasil y Colombia, donde se les llama hormigas culonas. En ellos las hormigas cortadoras de hojas son una verdadera plaga de las actividades agrícolas humanas porque llegan a arrasar hectáreas y hectáreas de sembradíos. Sus nidos pueden llegar a cubrir espacios de entre treinta y

seiscientos metros cuadrados y hasta ocho metros de profundidad, pues requieren mucha materia vegetal para el cultivo del hongo y para alimentar a los miles de individuos que conforman las colonias.



Figura 1: Hongo cultivado de la familia *Lepiotaceae* (orden Agaricales, subdivisión Basidiomycota). Foto: <http://www.abeilles-et-fourmis.com/musee/fourmis/atta-sexdens.html>

Una dependencia muy benéfica

La interacción entre las dos especies, animal y hongo, no es sólo un mutualismo, en donde ambos se benefician de la interacción biológica, sino que es una verdadera simbiosis donde las dos especies dependen una de otra. ¿A qué se debe la dependencia? Por un lado, a que las hormigas necesitan del hongo para alimentarse, de ahí el motivo del cultivo. Las hormigas trabajadoras son capaces de alimentarse parcialmente de la savia de las hojas que cortan, sin embargo el hongo es el único alimento de las larvas y de la reina. Las hojas cortadas por las hormigas tienen compuestos vegetales complejos que las hormigas no pueden digerir pues su microbiota intestinal es bastante pobre. En cambio, el hongo puede degradar las hojas gracias a las enzimas que posee, y entonces la hormiga reina y las larvas y las obreras enriquecen su dieta con proteínas y enzimas por alimentarse de él.

Por otro lado, el hongo basidiomiceto no se encuentra en estado natural fuera de los nidos de las hormigas *Atta* y *Acromyrmex*. Son las cortadoras de hojas las que se ocupan de mantener su “huerto” o jardín, sano y limpio: sacan los fragmentos de hongos muertos, alimentan el hongo constantemente

con fragmentos vegetales y evitan que otros hongos patógenos creen moho en el jardín, del mismo modo que un jardinero o agricultor se ocupa de la mala hierba y las plagas.

Ménage à trois

Además, las hormigas poseen en su exoesqueleto una bacteria que produce un fuerte antibiótico que protege al hongo de bacterias patógenas. De acuerdo con un estudio realizado en el año 2000 en la Universidad de Wisconsin-Madison, EU, las hormigas del género *Atta* y *Acromyrmex* utilizan la bacteria *Streptomyces* como pesticida en sus cultivos. Cameron Currie y su equipo de investigadores, consideran que la simbiosis se compone de tres elementos: las hormigas, el hongo y la bacteria. Además, el control del desarrollo de diferentes organismos en el seno del hormiguero lo hacen las hormigas regulando el pH, uno de 5 conserva la acidez del ambiente.

El ciclo del buen agricultor

Todo buen agricultor empieza por preparar la tierra. Las hormigas cortadoras de hojas empiezan por preparar el “jardín” compuesto de minúsculos fragmentos de hojas. Primero las trabajadoras se ocupan del forrajeo al exterior del nido: trozan la base de las hojas dejándolas caer al suelo. Después otras hormigas trabajadoras se ocupan de cortarlas en fragmentos transportables para llevarlas al nido. Una vez allí, las hormigas trabajadoras más pequeñas se ocupan de cortar los pedazos en fragmentos cada vez más pequeños hasta formar una especie de molido. Por último, las jardineras se encargan de transportar el molido a una nueva cámara, para depositar una gota de líquido fecal que favorece la actividad enzimática en los sitios de reproducción del hongo. Luego viene la siembra, un fragmento del hongo se traslada a la nueva cámara, donde crecerá sobre la base del molido vegetal, y los fragmentos vegetales se incorporan constantemente para que el hongo pueda crecer.

Por último... la cosecha. El hongo produce gongylidias, es decir, hifas que corresponden a la parte vegetativa del hongo, son filamentos de células alargadas que extraen los nutrientes de la cama vegetal. Todas las hormigas de la colonia se alimentan de estas hifas.

Junto con todo el proceso de cultivo, las hormigas deben mantener su sembradío en buenas condiciones. Las hormigas cortadoras de hojas emplean diversos métodos de higiene como arrancar los hongos ajenos y las partes secas o muertas del hongo simbiote y sacarlos al exterior del nido, o bien mejoran el crecimiento de las hifas secretando ácido fenilacético que impide el crecimiento de hongos exógenos, y secretando mirmicacina que impide la germinación de nuevas esporas y otras hormonas.

Los palacios subterráneos

El hongo crece dentro del nido subterráneo de las hormigas y puede llegar a tener dimensiones gigantescas. Las hormigas, la mayoría obreras estériles, construyen verdaderas ciudades que pueden llegar a tener hasta ocho metros de profundidad y superficies de hasta 600 m², con una arquitectura bastante compleja de miles de cámaras conectadas unas con otras por medio de túneles que derivan en otros cada vez más angostos, que son el acceso a las cámaras donde se cultiva el hongo, y que dan albergue a más de ocho millones de habitantes. Las cámaras donde se cultiva el hongo se encuentran a tres metros de profundidad, donde hay las mejores condiciones microclimáticas de temperatura y humedad para el cultivo del hongo. Ya pueden imaginar qué clase de palacio subterráneo construyen.

El desarrollo metabólico del hongo y la cohabitación de las hormigas en el nido producen grandes cantidades de dióxido de carbono, tóxico para las hormigas; por eso el nido está equipado con canales de aireación que regulan la entrada de aire del exterior. Las agricultoras poseen en sus antenas receptores sensibles a la más mínima variación de dióxido de carbono en el ambiente. Los canales del nido pueden estar abiertos u obstruidos en caso de lluvias y vientos fuertes o de que cambie el grado de humedad dentro del hormiguero. Si el ambiente se vuelve muy seco, las hormigas pueden “trasplantar” su cultivo a una cámara más apropiada, así como el agricultor regula las condiciones de cultivo en su invernadero.

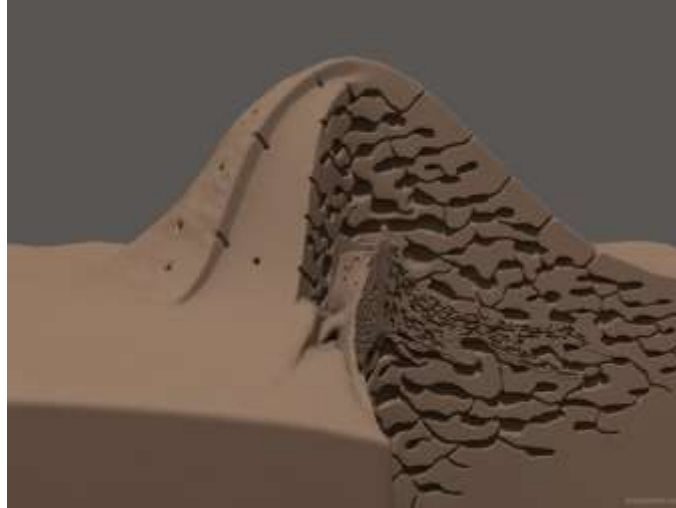


Figura 2: Ilustración 3D de un hormiguero subterráneo
<http://arminschieb.com/ant-hill-cutaway-pt-1/>

El primer y último vuelo

El vuelo nupcial da paso a la construcción de nuevos hormigueros y es un fenómeno anual que ocurre a principios de otoño. El primer día caluroso, al final de la temporada de lluvias, es el ideal. En esa época, los huevos de donde saldrán las futuras reinas eclosionan. Después salen masivamente y en forma sincronizada de sus nidos junto con los machos alados y otros individuos fértiles de diferentes colonias. El resultado es una gran nube de hormigas en un breve vuelo de apareamiento: el vuelo nupcial. Pero este excitante primer vuelo de las futuras hormigas reina vírgenes y los machos alados, será también el último. Durante el vuelo, los machos depositan dentro de la hembra su esperma, que es guardado en un órgano llamado espermateca gracias al cual la hembra podrá fertilizar los nuevos huevos formados incluso años después del apareamiento. Al final de este encuentro sexual, no todo es felicidad. Los amorosos pierden sus alas y vuelven a poner los pies en la tierra. Después de la fecundación, los machos mueren y las hembras fecundadas caen al suelo donde empiezan una carrera contra el tiempo para cavar rápidamente un nuevo refugio donde pondrán sus huevos fecundados y empezarán así una nueva colonia. Al principio ellas se alimentan de sus alas caídas; cuando el hoyo es bastante profundo se encierran durante tres meses, el tiempo necesario para la eclosión de los huevos que madurarán para transformarse en ninfas; sin embargo para alimentar a la reina servirán otros

huevos de los que hablaré más adelante. Como la reina es el único individuo fértil en cada colonia, los huevos fertilizados que pone se convertirán en hembras. Algunas obreras pondrán huevos no fertilizados que eclosionarán en machos alados o zánganos. Solo algunos huevos fertilizados que corren la suerte de recibir una alimentación preferencial, se convertirán en reinas fértiles, el resto no.

Esta forma de reproducción de las hormigas no sólo les permite conquistar nuevos terrenos, sino trasplantar fragmentos del hongo hacia nuevos cultivos. Durante el vuelo nupcial la reina es capaz de transportar en su cavidad oral un fragmento de hongo para formar una nueva colonia, como si llevara las semillas de su huerto. Una vez que excava su nuevo refugio, lo primero que hace es plantar su fragmento de hongo y cultivarlo personalmente. Al cabo de varios días el nido está compuesto de la proliferación del hongo y de algunos huevos que junto con los tejidos musculares de las alas, servirán de alimento para la reina en lo que el hongo simbiote alcanza dimensiones suficientes para alimentar a las larvas. Después de un mes las ya ninfas, hormigas en estado de maduración, siguen alimentándose de huevos pero no del hongo. Hay que esperar a que el cultivo se estabilice para poder cosecharlo. Una vez que nacen las obreras, éstas relevan a la reina y se ocupan del cultivo del hongo, también comienza el forrajeo en el exterior; el hongo puede entonces cosecharse e ingerirse. Paralelamente al trasplante del hongo, hay una transmisión vertical de la bacteria mutualista que asegura que haya pesticidas para el nuevo cultivo.

Podemos decir que las hormigas “cortadoras de hojas” son unas verdaderas agricultoras, ya que trabajan la tierra, siembran, aportan los fertilizantes necesarios, deshieren las plagas, aplican los productos fitosanitarios y, sobre todo, cultivan su hongo simbiote.



Figura 2: Vuelo nupcial de las hormigas Acromyrmex

Imagen: <http://www.cronicanorte.es/wp-content/uploads/2014/10/Hormiga-Voladora2-web.jpg>

¿Quién fue primero?

Existen varias teorías sobre el origen de esta simbiosis. Uno se puede preguntar cómo estos tres organismos llegaron a cohabitar y depender el uno del otro y quién fue primero: ¿el hongo que invadió el hormiguero o la hormiga que introdujo el hongo? La hipótesis más aceptada sugiere que el hongo se introdujo accidentalmente en el nido donde se desarrolló y poco a poco las hormigas lo incluyeron en su régimen alimenticio. Esto las llevó a adoptar un comportamiento específico para aportar sustratos vegetales a su huésped. Debido a la selección positiva, estos cultivos fueron transmitidos a nuevas sociedades. Otra hipótesis, sugiere un método de disseminación del hongo vía la ingestión de esporas por parte de las hormigas. La domesticación del organismo vendría después.

En 1889, Carlo Emery, entomólogo italiano, propuso que el mutualismo entre las dos especies se debe a que las hormigas comenzaron a ingerir los filamentos del micelio del hongo recién instalado en sus nidos, intentando destruirlo. Más tarde, la ingesta se convertiría en un comportamiento voluntario. El hecho de que las hormigas utilizaran métodos sofisticados para el control de su cultivo tales como las sustancias antibióticas, se considera un verdadero logro evolutivo.

La agricultura es una forma especializada de simbiosis que ha evolucionado en sólo cuatro grupos de animales: los seres humanos, los escarabajos, las termitas y las hormigas. Hay dos aspectos muy importantes que hacen a esta simbiosis única. El primero es el hecho de que el hongo que se encuentra en los hormigueros no sobrevive en el exterior, separado de su huésped, las hormigas. El segundo es la producción, única y específica de este hongo simbiote que produce gongylidias de las cuales las hormigas se alimentan.

Las hormigas descubrieron la agricultura una sola vez en el nuevo mundo, para luego especializarse en diferentes sistemas agrícolas según la domesticación del hongo. No se sabe con exactitud cuántos sistemas agrícolas de hormigas han habido o cuántos han evolucionado a lo largo de la historia. Sólo podemos decir que el mundo de las hormigas y su evolución es aún desconocido incluso en la actualidad.

Bibliografía

- B. Hölldobler, E.O. Wilson, *The Leafcutter Ants: Civilization by Instinct*, W.W. Norton & Company, Inc., 2011
- L. Passera, *Les fourmis : comportement, organisation sociale et évolution*, CNRS, 2008.
- http://fourmis.lenoir.pagesperso-orange.fr/Doc_fourmis/Especies/Champignonnistes/champignonnistes.htm#Evolution%20Oagriculture
- Currie, C. R., Scott, J. A., Summerbell, R. C., & Malloch, D., "Fungus-growing ants use antibiotic-producing bacteria to control garden parasites", *Nature* 1999, 398(6729), 701-704.
- Hölldobler B., Wilson E.O, *El superorganismo: Belleza y elegancia de las asombrosas sociedades de insectos*, Katz Editores, 2014.
- Schultz, T. R. y Brady, S. G., "Major evolutionary transitions in ant agricultura", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, 105(14), 5435-5440.
- Mueller, U. G., Rehner, S. A. y Schultz, T. R., "The evolution of agricultura in ants", *Science* 1998, 281(5385), 2034-2038.