

Las hormigas zombis.

Un ejemplo del impacto del parásito sobre la conducta de su hospedero

Héctor **Godínez Álvarez**

De acuerdo con el diccionario de la lengua española, un zombi es una persona que se supone muerta y es reanimada por brujería para dominar su voluntad. De manera similar, en la cultura haitiana, un zombi es un muerto que fue resucitado por un hechicero para convertirlo en su esclavo. El zombi puede ser usado por el hechicero para trabajar en su casa o en sus plantaciones. Por lo tanto, el hechicero obtiene beneficios de las acciones realizadas por el zombi. Los zombis surgieron en la cultura haitiana y posteriormente pasaron a formar parte de la cultura popular mundial. Sin embargo, los zombis son populares no solo en la cultura, sino también en la naturaleza. En ella, los zombis son organismos cuya conducta es modificada por los parásitos para obtener beneficios. Los parásitos son organismos que pueden pasar toda su vida, o parte de ella, dentro del cuerpo de uno o varios organismos conocidos como hospederos. Esta relación es positiva para los parásitos porque incrementa su supervivencia y reproducción, pero es negativa para los hospederos porque disminuye dichos procesos. Además de los parásitos, los parasitoides también son organismos que pasan parte de su vida en hospederos. Los parasitoides son principalmente avispas y moscas que depositan sus huevos en otros insectos para que sus

Parásito/ Parasitoide [§]	Hospedero [†]	Modificación conductual	Referencia
Avispa ² (<i>Hymenopimecis argyraphaga</i>)	Araña ² (<i>Plesiometa argyra</i>)	Antes de morir, la araña teje una telaraña reforzada para que la pupa de la avispa esté protegida.	Eberhard 2000
Nematomorfo ¹ (<i>Paragordius tricuspidatus</i>)	Grillo ² (<i>Nemobius sylvestris</i>)	El grillo se ahoga para que el nematomorfo pueda reproducirse en el agua.	Thomas y cols., 2002
Protozooario ¹ (<i>Toxoplasma gondii</i>)	Rata ¹ (<i>Rattus norvegicus</i>)	La rata es atraída a áreas con olor a gato, en donde es depredada por gatos.	Berdoy y cols., 2000
Tremátodo ¹ (<i>Leucochloridium paradoxum</i>)	Caracol ¹ (<i>Succinea putris</i>)	El caracol permanece en áreas expuestas e iluminadas, en donde es depredado por pájaros.	Weselowska y Weselowski 2014
Mosca ² (<i>Conopidae</i>)	Abejorro (<i>Bombus terrestris</i>)	Antes de morir, el abejorro se entierra para que la pupa de la mosca tenga un sitio protegido para hibernar.	Müller 1994

§ 1: Parásito; 2: Parasitoide; † 1: Hospedero intermedio, 2: Hospedero definitivo

Tabla 1. Ejemplos de parásitos o parasitoides y su efecto sobre la conducta de distintos grupos de organismos. Los hospederos pueden ser intermedios o definitivos.

larvas se desarrollen en el interior o en el exterior de éstos. Las larvas modifican la conducta de su hospedero y causan su muerte para incrementar la supervivencia de las pupas. La diferencia entre los parásitos y los parasitoides es que los primeros no matan a su hospedero, mientras que los segundos sí lo hacen. Los parásitos y parasitoides pueden infectar a distintos grupos de animales invertebrados y vertebrados, y causar cambios dramáticos en su conducta (Tabla 1). Por ejemplo, los grillos parasitados por nematomorfos –gusanos parecidos a los nemátodos– saltan a los cuerpos de agua para morir ahogados (Thomas y cols., 2002); los abejorros infectados por moscas parasitoides se entierran vivos (Müller, 1994) y las ratas parasitadas por protozoarios son atraídas por los orines de los gatos (Berdoy y cols., 2000).

Los cambios en la conducta del hospedero deberían beneficiar al parásito/parasitoide ya sea

Género de hormiga [†]	Parásito	Modificación conductual
Cephalotes ²	Hongo (<i>Ophiocordyceps</i>)	La hormiga sube a una planta, en donde muerde las nervaduras de las hojas y muere. Después de su muerte, el hongo se reproduce.
Formica ¹	Helminto (<i>Dicrocoelium dendriticum</i>)	La hormiga muerde la punta de las hojas de una planta y se convulsiona para ser ingerida por borregos.
Trachymyrmex ²	Hormiga (<i>Megalomyrmex adamsae</i>)	El parásito corta las alas de las reinas vírgenes, impidiendo el vuelo nupcial. La reina hace las tareas de las obreras.

† 1: Hospedero intermedio, 2: Hospedero definitivo

Tabla 2. Ejemplos de algunos parásitos de hormigas pertenecientes a distintos géneros y su efecto sobre la conducta. Las hormigas pueden ser hospederos intermedios o definitivos. Todos los ejemplos fueron tomados de Bekker y cols., 2018.

porque incrementan la probabilidad de que pase de un hospedero a otro; o bien, porque incrementan la probabilidad de que pueda sobrevivir hasta alcanzar la madurez para reproducirse. Sin embargo, existe la posibilidad de que los cambios en la conducta solo sean una respuesta del hospedero a la infección y que no proporcionen ningún beneficio al parásito/parasitoide. Para dilucidar estas opciones, es necesario realizar estudios experimentales en el campo y/o en el laboratorio para demostrar que los cambios en la conducta del hospedero efectivamente incrementan la supervivencia y reproducción del parásito/parasitoide.

Las hormigas son un grupo de insectos que es infectado por distintos grupos de parásitos como hongos y helmintos, e incluso por otras hormigas, los cuales modifican su comportamiento (Tabla 2). Un ejemplo es la relación entre el hongo *Ophiocordyceps unilateralis* y la hormiga *Camponotus leonardi* en los bosques tropicales de Tailandia (Andersen y cols., 2009; Hughes y cols., 2011a, 2011b; Pontoppidan y cols., 2009).

Los estudios realizados en estos bosques muestran que las hormigas establecen sus nidos en las copas de los árboles, a más de 15-25 m de altura, en donde forrajea para obtener su alimento. Sin embargo, cuando las hormigas no pueden pasar de la copa de un árbol a otro, bajan al piso del bosque para subir a otro árbol. Cuando las hormigas bajan al piso pueden infectarse con las esporas

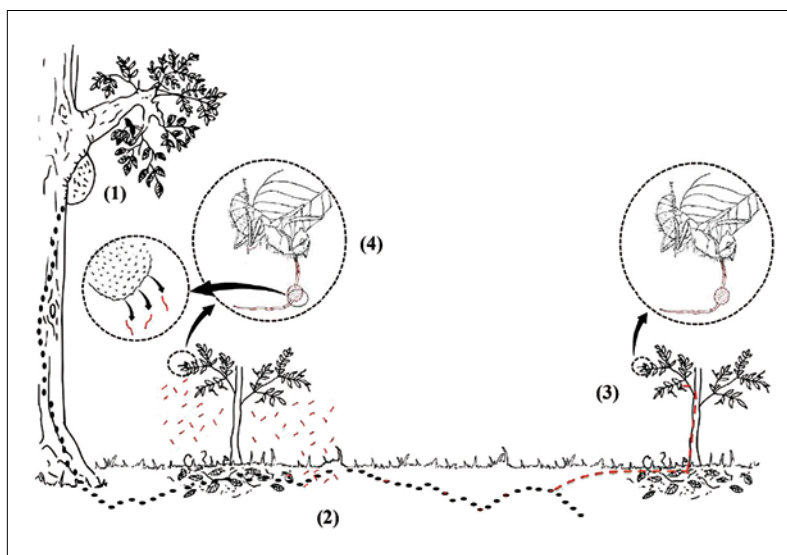


Figura 1. Relación entre el hongo *Ophiocordyceps unilateralis* y la hormiga *Camponotus leonardi*. (1) La hormiga anida en la copa de los árboles a 15-25 m de altura, en donde obtiene su alimento. Cuando la hormiga no puede pasar de la copa de un árbol a otro, baja al piso del bosque para subir a otro árbol. Sin embargo, (2) la hormiga es infectada por las esporas del hongo que están en el suelo. (3) Las hormigas infectadas salen del nido después de 10 días para subir a una plántula de 25 cm de altura, en donde se colocan en el envés de una hoja y muerden la vena media central, aunque también pueden morder las venas secundarias. La hormiga muere después de seis días de haber mordido la vena, pero (4) el hongo sigue creciendo hasta producir un cuerpo fructífero que sale entre la cabeza y el tórax de la hormiga. El cuerpo fructífero produce las esporas que caerán al suelo y podrán infectar a otra hormiga. Modificado de Araujo y Hughes (2016).

del hongo que están en el suelo (Andersen y cols., 2009; Figura 1). Las esporas atraviesan el exoesqueleto de las hormigas y el hongo crece en el interior de su cuerpo. Las hormigas infectadas actúan normalmente y continúan entrando y saliendo del nido para forrajear. Sin embargo, después de alrededor de 10 días, la hormiga infectada sale del nido y baja al piso del bosque en donde camina aleatoriamente y eventualmente sufre convulsiones (Hughes y cols., 2011b). A mediodía, cesan las convulsiones y la hormiga sube a una plántula de 25 cm de altura aproximadamente, para colocarse en el envés de una hoja y morder la vena media central, aunque también puede morder una vena secundaria.

La hormiga permanece fija a la vena debido a que los músculos de sus mandíbulas son atrofiados por el hongo (Hughes y cols., 2011b). Después de aproximadamente seis horas de haber mordido la vena, la hormiga muere debido al crecimiento del hongo. El hongo continúa creciendo durante seis días y produce un cuerpo fructífero que sale entre la cabeza y el tórax de la hormiga, el cual produce las esporas que caerán al suelo y podrán infectar a otra hormiga (Andersen y cols., 2009; Figura 1). La infección de las hormigas por el hongo es bastante común, pues existen “cementeros de hormigas” en donde es posible encontrar hasta 26 hormigas por m². Los cementeros

están distribuidos en parches y pueden encontrarse todos los años, aunque el número de hormigas muertas puede variar de un año a otro (Pontoppidan y cols., 2009).

Si los cambios en el comportamiento de la hormiga benefician al hongo, entonces el sitio en donde la hormiga muere –el envés de las hojas a 25 cm de altura– debería proporcionar condiciones ambientales adecuadas para la supervivencia y reproducción del hongo. Para comprobar estas ideas, la temperatura y la humedad fueron medidas a nivel del suelo, a 30 cm y 100 cm del suelo, así como a 5 m, 10 m, 15 m, 20 m y 25 m de altura, de las 9:00 a las 15:00 h. Además, las hormigas infectadas por el hongo recién muertas fueron colocadas en el suelo y a 15 m de altura (Andersen y cols., 2009). La humedad fue alta y relativamente constante (93-95 %) del nivel del piso a 100 cm de altura, pero fue baja y variable (80-85 %) de 5 a 25 m. Por el contrario, la temperatura fue baja y relativamente constante (25-26 °C) del nivel del piso a 100 cm de altura, pero fue alta y variable (28-29 °C) de 5 a 25 m.

Los hongos en las hormigas que estaban en el suelo y a 15 m de altura tenían filamentos grises, en lugar de los filamentos café que tienen los hongos que están en las hormigas del envés de las hojas, a 25 cm de altura. Además, los hongos

en las hormigas del suelo y a 15 m nunca produjeron cuerpos fructíferos (Andersen y cols., 2009). Los sitios en donde mueren las hormigas tienen condiciones relativamente constantes de temperatura y humedad que favorecen el crecimiento y reproducción del hongo, mientras que el dosel de los árboles tiene condiciones variables de temperatura y humedad que dañan al hongo. Además, a nivel del suelo, las hojas secas y las partículas del suelo cubren al hongo perjudicando su crecimiento y reproducción (Andersen y cols., 2009).

Las mediciones de temperatura y humedad en el bosque muestran que los cambios en la conducta de la hormiga favorecen la supervivencia y reproducción del hongo, por lo que la relación entre estos organismos debe ser resultado de la evolución a lo largo de varios cientos o miles de años. En este sentido, en estudios hechos en Messel, Alemania, se encontró una hoja fósil de 48 millones de años de antigüedad de la planta *Byttneria daphnogenes*, con 29 cicatrices alrededor de las venas secundarias (Hughes y cols., 2011a). Estas cicatrices pudieron haber sido hechas por una hormiga zombi, por lo que las cicatrices de la hoja fósil fueron comparadas con las cicatrices de hojas recientes hechas por la hormiga *C. leonardi*. Las comparaciones mostraron que las cicatrices en ambas hojas –la hoja fósil y la hoja reciente– tienen características morfológicas similares, por lo que seguramente fueron hechas por hormigas zombis. Esta evidencia sugiere que la relación entre el hongo y la hormiga podría existir desde mediados del Eoceno (Hughes y cols., 2011a).

En conclusión, algunos parásitos y parasitoides pueden causar cambios dramáticos en la conducta de sus hospederos. Sin embargo, es necesario determinar experimentalmente si dichos cambios benefician al parásito/parasitoide o si solo son una respuesta del hospedero a la infección que no les proporciona ningún beneficio. Los estudios de la relación entre el hongo *O. unilateralis* y la hormiga *C. leonardi* muestran que el sitio en donde muere la hormiga –el envés de las hojas a

25 cm de altura– tiene condiciones adecuadas de temperatura y humedad para la supervivencia y reproducción del hongo. Los cambios en la conducta de la hormiga causados por el hongo son resultado de un largo proceso evolutivo.

R E F E R E N C I A S

- Andersen SB, Gerritsma S, Yusah KM, Mayntz D, Hywel-Jones NL, Billen J, Boomsma JJ and Hughes DP (2009). The life of a dead ant: the expression of an adaptive extended phenotype. *The American Naturalist* 174:424-433.
- Araújo JPM and Hughes DP (2016) Diversity of entomopathogenic fungi: which groups conquered the insect body? *Advances in Genetics* 94:1-39.
- Bekker C, Will I, Das B and Adams R (2018). The ants (Hymenoptera: Formicidae) and their parasites: effects of parasitic manipulations and host responses on ant behavioral ecology. *Myrmecological News* 28:1-24.
- Berdoy M, Webster JP and Macdonald DW (2000). Fatal attraction in rats infected with *Toxoplasma gondii*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 267:1591-1594.
- Eberhard WG (2000). Spider manipulation by a wasp larva. *Nature* 406:255-256.
- Hughes DP, Wappler T and Labandeira CC (2011a). Ancient death-grip leaf scars reveal ant–fungal parasitism. *Biology Letters* 7:67-70.
- Hughes DP, Andersen SB, Hywel-Jones NL, Himaman W, Billen J and Boomsma JJ (2011b) Behavioral mechanisms and morphological symptoms of zombie ants dying from fungal infection. *BioMed Central Ecology* 11:13.
- Müller CB (1994). Parasitoid induced digging behaviour in bumblebee workers. *Animal Behaviour* 48:961-966.
- Pontoppidan MB, Himaman W, Hywel-Jones NL, Boomsma JJ and Hughes DP (2009). Graveyards on the move: the spatio-temporal distribution of dead *Ophiocordyceps*-infected ants. *PLoS One* 4:e4835.
- Thomas F, Schmidt-Rhaesa A, Martin G, Durand P and Renaud F (2002). Do hairworms (Nematomorpha) manipulate the water seeking behaviour of their terrestrial hosts? *Journal of Evolutionary Biology* 15:356-361.
- Wesolowska W and Wesolowski T (2014). Do *Leucochloridium* sporocysts manipulate the behaviour of their snail hosts? *Journal of Zoology* 292:151-155.

Héctor Godínez Álvarez
Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO)
Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM
hgodinez@unam.mx