

Lorena López Rodríguez, Cristina Burrola Aguilar y Roberto Garibay Orijel



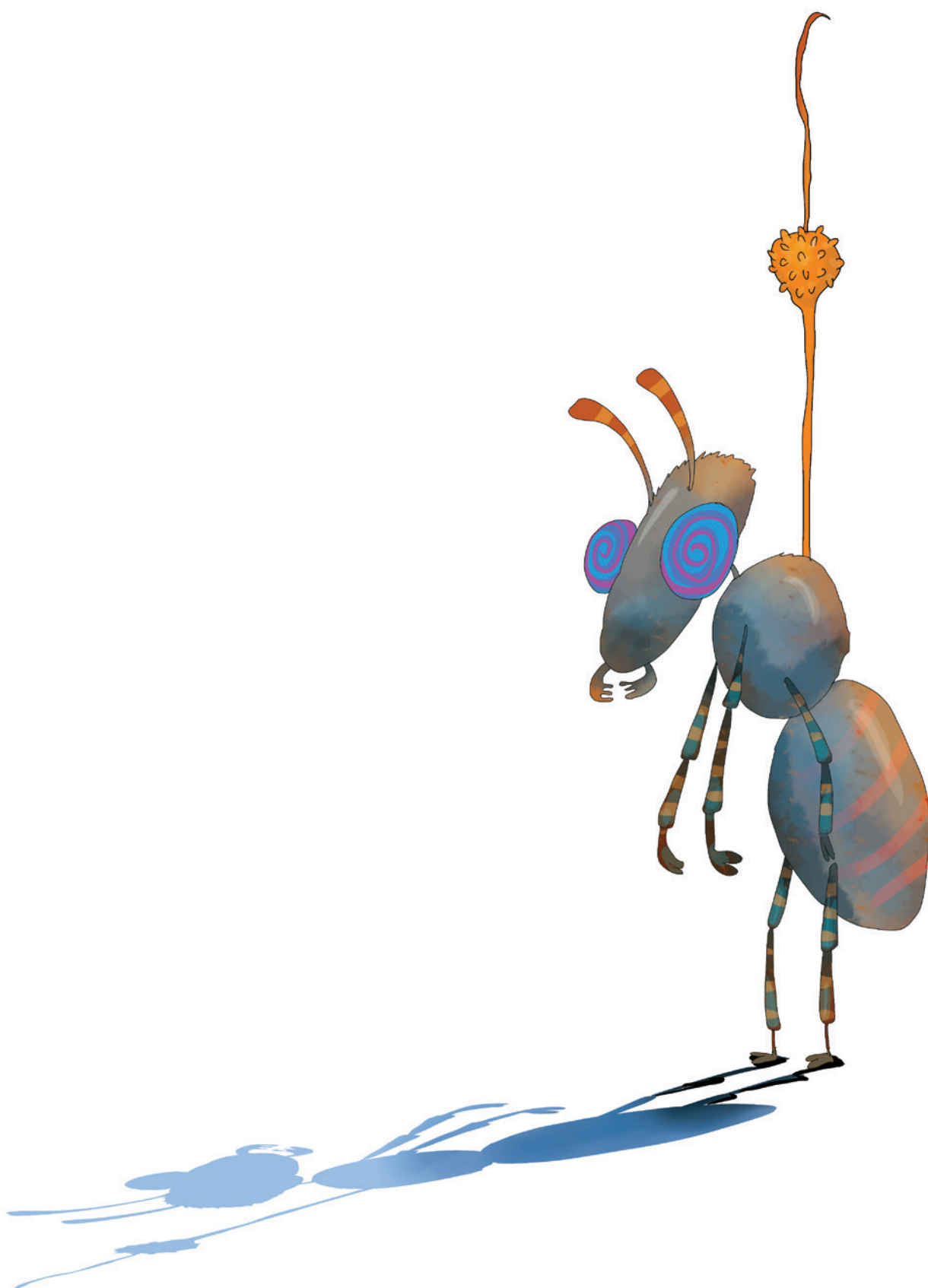
¡Hongos que comen insectos!...

¿Tienen propiedades medicinales?

En la actualidad, la humanidad se enfrenta a diversos problemas, como la seguridad alimentaria y las enfermedades infecciosas, crónicas o degenerativas. Afortunadamente, muchas especies de hongos ayudan a resolver estos problemas o disminuir su impacto. En particular, los hongos parásitos de insectos se pueden aprovechar como alimentos funcionales, pero además son altamente valorados por sus propiedades medicinales.

La seguridad alimentaria y la prevención de enfermedades forman parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, lo que indica que en el mundo es prioritario llevar a cabo investigaciones enfocadas en estos temas. En la actualidad, la producción de alimentos es una actividad que requiere especial atención debido al crecimiento poblacional, la sobreexplotación de los recursos naturales y un ambiente cambiante, por lo que cada vez es más necesario experimentar con un mayor número de especies que puedan cultivarse, como una estrategia que permita diversificar las fuentes de alimentos, conservar los recursos en sus hábitats, así como proteger su diversidad y variabilidad genética. Al mismo tiempo, la incidencia de enfermedades degenerativas, crónicas e infecciosas, por ejemplo, cáncer, diabetes o covid-19, entre otras, está aumentando y con ello ha crecido el consumo de alimentos funcionales que, más allá del aporte nutricional, tienen un efecto benéfico para la salud humana, como es el caso de los hongos silvestres, y en particular algunas especies de hongos parásitos.

Debido a sus características biológicas, estos hongos han ganado una mayor atención en diferentes áreas prioritarias, como la agroindustria, alimentación, farmacología y medicina, por lo cual su estudio es importante para aprovechar las diferentes especies como alimentos funcionales y por sus propiedades medicinales. Cabe resaltar que gran parte de las investigaciones se han hecho en laboratorio y con especies asiáticas, donde son altamente apreciadas. No obstante, nuestro grupo de trabajo en México se ha enfocado a citar la presencia de este tipo



de hongos en diferentes entidades y a estudiarlas como controladores biológicos, más allá de su potencial como alimentos funcionales, pues hoy también es un tema prioritario en el mundo. En este sentido, es fundamental impulsar más investigaciones sobre su cultivo, sus componentes nutricionales y biofuncionales, no sólo para desarrollar un nuevo campo de conocimiento en la región, sino porque además permitirían ampliar el número de alimentos con potencial funcional para la población.

■ Los hongos parásitos

■ Si visitas un bosque o una selva, es muy probable que observes la presencia de hongos, los cuales son organismos muy diversos, con diferentes tamaños, formas, colores y múltiples funciones en la naturaleza. Los hongos que se alimentan de materia orgánica en descomposición se llaman saprobios y los podemos encontrar sobre la hojarasca, troncos en descomposición, excremento y otras superficies ricas en materia orgánica. Por otra parte, los micorrízicos se asocian benéficamente con las raíces de las plantas, ya que estos hongos les suministran sustancias nutritivas, minerales y agua, mientras que las plantas les proveen azúcares y vitaminas. Además, hay algunas especies de hongos parásitos que crecen, se desarrollan y reproducen en otros organismos –diferentes grupos de insectos, arañas, otros hongos e incluso pastos– y, con esto, afectan su crecimiento o supervivencia. Por ejemplo, los géneros *Ophiocordyceps* y *Cordyceps sensu lato* (s. l.) parasitan en su mayoría a insectos; sin embargo, también se han registrado creciendo en arácnidos y en otros hongos. La especie *C. nidus*, distribuida en Colombia, crece en nidos de tarántulas, mientras que *Tolypocladium ophioglossoides* parasita hongos que están enterrados en el suelo.

Aproximadamente hay 1 000 especies de hongos parásitos clasificadas en varios géneros, tales como *Beauveria*, *Cordyceps*, *Metarhizium*, *Ophiocordyceps* y *Tolypocladium*. En su mayoría, han evolucionado como parásitos y algunas especies son endófitas (se encuentran dentro de las plantas). Los hongos parásitos silvestres son muy peculiares cuando los encontramos en los bosques, ya que su fructificación,

llamado estroma, no tiene forma de sombrero, como los champiñones o las setas, sino que comúnmente tiene forma clavada, como un palo con la parte superior más gruesa (véanse las Figuras 1 y 2), con o sin ramificaciones. Las diferentes especies de estos hongos parásitos tienen colores amarillos, rojos, naranjas, cafés, negros y blanquecinos, con tonalidades desde brillantes hasta opacas. También tienen tamaños variables, pero en general son muy pequeños; por ejemplo, *Ophiocordyceps halabalaensis*, una especie que parasita a hormigas, mide entre 6.5 y 18 mm.

■ ¿Cuál es la importancia de estos hongos?

■ Por lo general, los hongos parásitos se encuentran en diversos grupos de insectos, en su mayoría mariposas, polillas y escarabajos, pero también se pueden observar en abejas, avispas, hormigas, pulgones, cigarras, chinches, saltamontes, grillos, langostas, moscas, mosquitos, cucarachas, mantis, tijerillas, li-



Figura 1. Ejemplo de *Cordyceps* sp. parasitando una pupa de palomilla. Colectado en Tenancingo, Estado de México. Fotografía de Lorena López Rodríguez, 2018.



Figura 2. Ejemplo de *Ophiocordyceps* sp. parasitando a un grillo. Colectado en Tenancingo, Estado de México. Fotografía de Lorena López Rodríguez, 2018.

bélulas, insectos palo, insectos hoja, entre otros. Esta característica biológica tiene la función de controlar las poblaciones de insectos que a veces son plagas. Un ejemplo es *Ophiocordyceps unilateralis*, que parasita hormigas y causa el efecto conocido como “hormiga zombi”, una infección que inicia cuando una espora del hongo se adhiere al exterior de la hormiga, germina, penetra al insecto y se desarrollan hifas que absorben nutrientes. En este proceso de infección, el hongo induce un cambio en el comportamiento de la hormiga, ya que ésta se desvía del camino, sube sobre el tallo de una planta y muerde el envés de una hoja; curiosamente, esto permite al hongo tener un microclima adecuado para la fructificación y dispersión aérea de sus esporas.

Además, esta cualidad biológica también es útil para controlar insectos transmisores (vectores) de enfermedades de importancia médica. Por ejemplo, *Metarhizium anisopliae* se ha utilizado en África para controlar a los mosquitos vectores de la malaria, enfermedad que afecta a cerca de 300 y 500 millones de personas cada año, de las cuales fallecen entre 1.5 y 2 millones. Asimismo, en México, Alberto García Munguía y cols. (2015) han probado en el laboratorio la eficiencia de *M. anisopliae* y *Beauveria bassiana* para controlar al mosquito *Aedes aegypti*, el cual es transmisor del dengue, la enfermedad emergente más importante del continente americano, que afecta entre 50 y 100 millones de personas cada año. En estos experimentos se ha encontrado un porcentaje

de infección de 90% en cinco días con ambas especies, lo cual indica que estos hongos parásitos son una alternativa ecológica con efectos positivos para el control de insectos vectores.

■ Propiedades medicinales

■ Aunado a la importancia agrícola y ecológica que tienen estos hongos, también presentan un alto valor medicinal, debido a que producen una gran cantidad de sustancias con actividad biológica benéfica para la salud humana. Las propiedades medicinales que se les atribuyen son antitumorales, antimetástasis, antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, antivirales e inmunomoduladoras, las cuales son resultado de la actividad biológica de diferentes biomoléculas producidas por estos hongos, como son la cordicepina, didanosina, ergosterol, polisacáridos, glicoproteínas y péptidos. Por ejemplo, en el cultivo de *Cordyceps nidus* se han encontrado grandes cantidades de componentes benéficos, con hasta 3 744 metabolitos en extractos acuosos, entre los que se encuentran péptidos, vitaminas, ácidos orgánicos y azúcares; algunos de éstos son bioactivos, por ejemplo, la cordisinina con actividad antiviral y la fitosfingosina con actividad antibacteriana, antiinflamatoria y anticancerígena (Chiriví y cols., 2017). Adicionalmente, la pared celular de los hongos silvestres contiene dos compuestos con propiedades antitumorales, antiinfecciosas y antiinflamatorias: el ergosterol es una sustancia grasa precursora de la vitamina D, la cual participa en varias funciones, tales como mantener la regulación de calcio y fósforo para la integridad de los huesos y dientes, además de ayudar al sistema inmunológico y endocrino, entre otros; por otra parte, los β -glucanos son polisacáridos o azúcares que, además de formar parte de las plantas, se encuentran en los granos de cereales y algunas bacterias, y tienen varias funciones como estimulantes del sistema inmunitario.

Cabe resaltar que la mayor parte de los estudios sobre las propiedades medicinales de estos hongos se ha llevado a cabo en laboratorio y con especies asiáticas. Por ejemplo, los extractos de *Cordyceps kyushuensis* regulan la expresión de genes y otras mo-



léculas involucradas en el crecimiento, proliferación y formación de tumores en células humanas de pulmón. También se han estudiado sustancias específicas, por ejemplo, para el tratamiento farmacológico del VIH (virus de la inmunodeficiencia humana) mediante el antirretroviral didanosina, con el nombre comercial Videx, que se obtiene de *C. militaris*. Recientemente, un estudio computacional evaluó el potencial terapéutico de la cordicepina, producida por esta especie de hongo parásito, contra covid-19, y se encontró que dicha sustancia inhibió proteínas implicadas en la replicación del virus SARS-CoV-2, por lo que las investigaciones sugieren su uso para probar la eficiencia y seguridad en el tratamiento de esta enfermedad emergente.

■ ■ ■ Hongos con alto valor

■ Actualmente, especies como *Ophiocordyceps sinensis* y *Cordyceps militaris* son altamente valoradas como hongos medicinales y se aprovechan en países como China y Corea. La especie *O. sinensis* ocupa el primer lugar como la más cara del mundo –incluso es denominada “el oro del Himalaya”–, con un costo de hasta \$60 000 USD/kg, según lo registrado en 2015. Esta especie únicamente se distribuye en el Tíbet, a una altitud de 3 000 a 5 000 m, y se encuentra en riesgo de extinción, en la categoría de “vulnerable”, debido a la disminución de su población por la sobreexplotación causada por su alto valor en el mercado. El cultivo artificial de esta especie para la obtención de cuerpos fructíferos a gran escala se ha logrado mediante un proceso lento, a partir de estu-

dios sobre su biología, la relación con su hospedero y la simulación del entorno alpino en el que se encuentra; de acuerdo con la literatura, se han alcanzado rendimientos anuales de 2.5, 5 y 10 toneladas en 2014, 2015 y 2016, respectivamente.

Como especies alternativas de *O. sinensis* se han cultivado en laboratorio diversas especies del género *Cordyceps* similares en la composición de sus biomoléculas, ya que contienen una amplia gama de nutrientes, como aminoácidos esenciales, vitamina E, K, B₁, B₂, B₁₂, muchos tipos de azúcares, proteínas, esteroides, nucleósidos, macro y microelementos, como potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro, zinc, selenio, aluminio, cromo, entre otros; no obstante, más que como alimentos funcionales, su valor está relacionado principalmente con su efecto medicinal. La producción mundial de las diferentes especies de este género es de 83.2 a 182.5 toneladas por año. Hasta ahora, de las más de 1 000 especies de *Cordyceps s. l.* que se han descrito, 36 se han cultivado en el laboratorio para la producción de fructificaciones, de las cuales *C. militaris* es la que presenta el periodo más corto de producción. Este hongo infecta a capullos de palomillas y se ha reportado en diferentes partes del mundo. El aprovechamiento de esta especie es como un hongo medicinal y como un alimento funcional; el uso de sus fructificaciones y micelio es mayormente para productos de salud y medicamentos. También las fructificaciones se utilizan para cocinar sopas o guisados con pollo, pato o cerdo, o bien se preparan té o café. Su uso en sopas es muy popular en China, donde se recomienda una dosis segura de 2.5 g/kg de peso corporal. Con el micelio se ela-

boran productos alimenticios como líquidos orales, cápsulas, vinos, vinagres, infusiones, yogurts y salsa de soya, por lo que la presentación de *C. militaris* para su consumo es muy variable y en los mercados asiáticos se distribuyen más de 30 tipos de productos comestibles para mejorar la salud.

En México, a pesar de que se encuentran varias especies del género *Cordyceps s. l.* que tienen una importancia medicinal reconocida en los países asiáticos, como *C. militaris* y *C. pruinosa*, además de *Tolypocladium capitatum* y *T. ophioglossoides*, entre otras, estos hongos parásitos no son aprovechados como medicinales ni como alimentos funcionales, debido a que no se tiene una tradición para su consumo. En nuestro país sólo se han citado 17 especies que presentan importancia funcional; sin embargo, actualmente se llevan a cabo estudios sobre la biología, evolución, cultivo *in vitro* y metabolitos de especies silvestres mexicanas. En dichas investigaciones participan colaboradores de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Por ejemplo, *Cordyceps mexicana* es una especie recientemente descrita, cultivada en laboratorio, que produce cordicepina, sustancia en la que se han probado propiedades anticancerígenas y antitumorales (López-Rodríguez y cols., 2022).

■ **Conclusión**

■ Cuando camines por el bosque, tal vez podrás encontrar algunos hongos parasitando a una pupa o larva de mariposa, una gallina ciega, un escarabajo, un insecto palo, una araña, un nido de araña, otros hongos y hasta pastos. Recuerda que desempeñan una función importante, no sólo desde el punto de vista ecológico y agrícola, como reguladores y controladores biológicos de plagas e insectos transmisores de enfermedades emergentes, sino también en términos alimenticios y farmacológicos, ya que algunas especies son altamente valoradas por su propiedad anticancerígena y antiviral, lo cual los hace alimentos funcionales sumamente atractivos para la investigación.

Lorena López Rodríguez

Centro de Investigación en Recursos Bióticos, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México.
llopezr_s@uaemex.mx

Cristina Burrola Aguilar

Centro de Investigación en Recursos Bióticos, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México.
cba@uaemex.mx

Roberto Garibay Orijel

Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México
rgaribay@ib.unam.mx

Lecturas recomendadas y referencias específicas

- Chiriví, J. et al. (2017), "Metabolomic profile and nucleoside composition of *Cordyceps nidus* sp. Nov. (Cordycipitaceae): A new source of active compounds", *PLoS ONE*, 12:1-27.
- Illana, C. (2007), "*Cordyceps sinensis*, un hongo usado en la medicina tradicional china", *Revista Iberoamericana de Micología*, 24:259-262.
- García-Munguía, A. M., H. Cortez-Madrigal, M. A. Velázquez-Machuca, M. Rebollar-Plata y M. Acosta-Ramos (2015), "Evaluación de *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* aislados de la Ciénega de Michoacán, México, para el control de *Aedes aegypti*", *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 3:1060-1067.
- López-Rodríguez, L. y C. Burrola-Aguilar (2019), "Hongos parásitos de insectos y otros hongos: una alternativa de alimento funcional", *Agroproductividad*, 12:57-62.
- López-Rodríguez, L. (2022), "Temporada de hongos... Tem-
porada de *Cordyceps mexicana*, una nueva especie para la ciencia", *Identidad Universitaria*, 19:7-8.
- López-Rodríguez, L. et al. (2022), "*Cordyceps mexicana* sp. nov., parasitizing *Paradirphia* sp. moths: A new sister species of the *Cordyceps militaris* complex, distributed in central Mexican *Quercus-Pinus* mixed forests", *Mycologia*, 114:1-16.
- Pérez-Villameres, J. C., C. Burrola-Aguilar, X. Aguilar-Miguel, T. Sanjuan y E. Jiménez-Sánchez (2017), "Nuevos registros de hongos entomopatógenos del género *Cordyceps s.l.* (Ascomycota: Hypocreales) del Estado de México", *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88: 773-783.
- Rubio-Bustos, S. Y., L. Guzmán-Dávalos y J. L. Navarrete-Heredia (1999), "Especies entomopatógenas de *Cordyceps* (Fungi:Ascomycotina) en México", *Boletín IBUG*, 7:135-157.