

Ninfas de mosca blanca *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae) infectadas por el hongo entomopatógeno endófito *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuill.

## Control microbiano de plagas con hongos entomopatógenos

Los hongos entomopatógenos (HE) tienen una serie de características propias como su modo de acción único mediante la penetración directa a través de la cutícula, su fácil producción en masa, y sus nuevos roles ecológicos como endófitos y/o promotores del crecimiento de las plantas, que los sitúan como una gran alternativa a los insecticidas químicos de síntesis. Recientemente se ha demostrado que los HE pueden matar a su hospedante sin necesidad de que se inicie el proceso de infección por la vía tegumentaria. En este caso, su ciclo de patogénesis se complica con el estrés del insecto como un nuevo elemento y como consecuencia de la activación de redes de respuesta en el mismo. Este artículo profundiza en los nuevos descubrimientos relacionados con el modo de acción y papel de los HE como bioinsecticidas.

**Inmaculada Garrido  
Jurado y Enrique  
Quesada Moraga**

Dpto. Agronomía,  
Universidad de Córdoba.  
g72gajui@uco.es

## Introducción

Los hongos entomopatógenos (HE) están presentes de forma natural en las poblaciones de insectos que regulan, en el suelo, en las plantas -tanto en el filoplano, en la rizosfera o como endófitos- y en el aire (Aira y col., 2007; Garrido-Jurado y col., 2015; Goettel y col., 2005; Quesada-Moraga y col., 2007; 2014). Estos están unidos de manera intrínseca a sus hospedantes, en un proceso de continua coevolución que hace que estén adaptados a vivir a expensas de éstos, de los que obtienen la energía necesaria para su desarrollo (Roy y col., 2006). La mayor parte de las especies de HE pertenecen a las divisiones Blastocladiomycota, Entomophthoromycota y Ascomycota, si bien, son los de la división Ascomycota, en especial los del Orden Hypocreales, los más empleados como micoinsecticidas por su facilidad de producción a gran escala (Quesada-Moraga y Santiago-Álvarez, 2008). Aunque hay más de 700 especies de HE, la mayoría de estas pertenecen solo a unos pocos géneros como *Beauveria* Vuill., *Metarhizium* Sorok., *Isaria* Pers., *Hirsutiella* Pat. y *Lecanicillium* W. Gams & Zare. Algunos de ellos son base de micoinsecticidas desarrollados para el control de una gran variedad de plagas agrícolas, forestales, de productos almacenados o sinantrópicas. En la actualidad hay alrededor de treinta formulaciones de estos agentes fúngicos de control biológico comercializadas en el mundo, con trece especies fúngicas como materias activas, si bien el 80% de ellas se basan en los géneros *Beauveria* y *Metarhizium* (Butt y col., 2016). En particular, en España están autorizadas tres formulaciones de *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. (Botanigard®, Botanigard 22 WP® y Naturalis-L®), una de *Metarhizium anisopliae* Metch. Sorok. (MET 52 OD), una de *Lecanicillium muscarium* (Petch) Zare & W. Gams (Mycotal®) y una de *Paecilomyces fumosoroseus* (Wize) A.H.S. Br. & G. (FUTURECO NoFly WP®).

## Modo de acción

Los HE, en particular los ascomicetos mitosporicos entomopatógenos (AME), infectan al insecto hospedante por la vía tegumentaria,

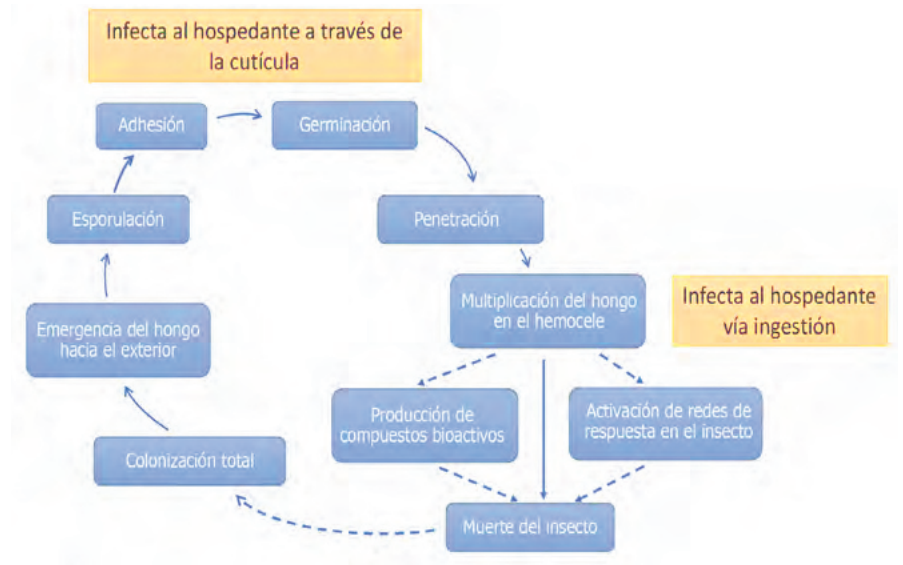


Figura 1. Ciclo de patogénesis de los hongos entomopatógenos cuando infectan a su hospedante por la vía tegumentaria y cuando son ingeridos por el mismo. Las flechas sólidas indican que siempre ocurren las etapas de este, las flechas discontinuas indican que puede ocurrir o no esa etapa del ciclo de patogénesis.

donde tras su adhesión, mediada por mecanismos de reconocimiento cuticular, germinan los conidios, producen estructuras de anclaje tipo apresorio y atraviesan el tegumento por la acción conjunta de proteasas, lipasas y quitinasas (Figura 1). Posteriormente, el hongo invade el hemocele, para lo que debe vencer el sistema defensivo del insecto, gracias a la acción de compuestos de distinta naturaleza -metabolitos y/o proteínas-. El proceso culmina con la muerte del insecto, principalmente por exhaustión de nutrientes, invasión de tejidos, y secreción de compuestos insecticidas, seguida del crecimiento saprotrófico del hongo a expensas del cadáver, lo que contribuye a su dispersión (Quesada-Moraga y Santiago-Álvarez, 2008; Vega y col., 2012; Ortiz-Urquiza y Keyhani, 2016).

## El estrés, un nuevo elemento en el modo de acción

Hasta hace poco tiempo, el modo de acción de los AME quedaba descrito de la manera anterior, si bien trabajos recientes revelan que los AME pueden matar al insecto sin necesidad de que se inicie el proceso de infección por la vía tegumentaria. La respuesta defensiva del insecto a las infecciones se basa en dos mecanismos fundamentales: el celular, asociado a la actividad de los hemocitos, y el humoral, con

base en la producción de péptidos defensivos. La respuesta celular está gobernada por diferentes tipos de hemocitos que pueden encapsular, fagocitar o matar a los microorganismos invasores (Pham y col., 2007). Por otro lado, la respuesta humoral viene dada por la liberación de péptidos antimicrobianos (AMPs) a la hemolinfa, de especies de oxígeno reactivo (ROS) y cascadas de complejos enzimáticos que regulan la melanización (Valero-Jiménez y col., 2016). Para mitigar los daños producidos por ellos, los insectos poseen enzimas antioxidantes y de detoxificación, cuyos valores suelen estar aumentados cuando se produce la infección (Figura 2). Los HE activan redes de respuesta en el interior del cuerpo del insecto, que incluyen el control del estrés y los antioxidantes, mediante la interacción con lisozimas y AMPs (Butt y col., 2006). Se ha comprobado cómo la ingestión de conidios de *Metarhizium* sp. produce elevados niveles de expresión de genes relacionados con el estrés, como las proteínas de choque térmico (HSPs), que a su vez pueden regular la actividad caspasa y conducir a la muerte celular y en último término a la del insecto (Butt y col., 2013; Garrido-Jurado y col., 2016; Alkhaibari y col., 2016). Por otro lado, también se ha producido muerte celular o apoptosis en ninfas de mosca blanca *Bemisia tabaci*



(Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) alimentadas con hojas de melón colonizadas endofíticamente (Garrido-Jurado y col., 2017).

## Los hongos entomopatógenos como micoinsecticidas

El desarrollo de un micoinsecticida es un proceso complejo en lo relativo a la selección de la cepa fúngica, que debe tener competencia ambiental (Quesada-Moraga, 2018). En efecto, durante el proceso inicial de la infección (germinación y penetración de la cutícula), el hongo debe estar adaptado a factores ambientales, tales como la temperatura, humedad, radiación UV-B, actividad microbiana y fisiología del hospedante que afectan la eficacia y la persistencia de los propágulos infectivos (Jaronski, 2010; Jackson y col., 2010). Esto no ocurre en aquellos HE utilizados como endófitos artificiales, ya que estos están protegidos dentro de la planta de los factores abióticos y bióticos anteriores que limitarían su uso como micoinsecticidas en ambientes epífitos (Quesada-Moraga y col., 2014).

Los micoinsecticidas se aplican siguiendo dos estrategias de empleo (obviando el control biológico clásico y la conservación): (1) por inoculación con la aplicación puntual del inóculo para iniciar ciclos de enfermedad, establecer el hongo en la población del insecto y mantener el control a largo plazo, y (2) por inundación con la aplicación del micoinsecticida para controlar la población en un tiempo relativamente corto. Aún así, la mayoría de los micoinsecticidas comercializados se emplean bajo la estrategia de inundación, utilizando maquinaria convencional para aplicarlos sobre el sustrato vegetal o el suelo a altas concentraciones de propágulos infectivos (Eilenberg y col., 2001). Estos productos comerciales están formulados con los propágulos infectivos conidios y blastosporas, aunque también podrían formularse con microesclerocios en algunas de las especies fúngicas, y se aplican en tratamientos de pulverización con formulaciones líquidas dirigidas al suelo o a la planta o con gránulos al suelo. En el caso de emplear HE para la colonización

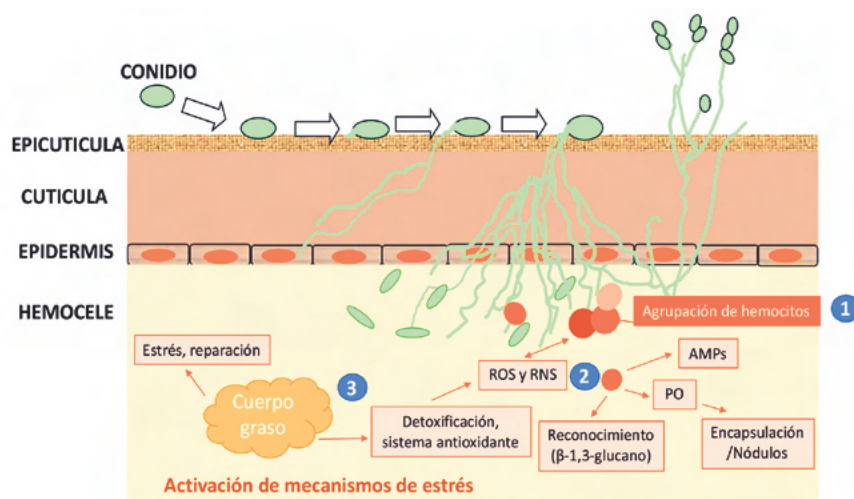


Figura 2. Interacciones entre el hongo y el insecto en la etapa de crecimiento fúngico en el interior del hospedante durante el proceso de infección de un ascomiceto mitospórico entomopatógeno. 1) El HE es reconocido en la hemolinfa por los hemocitos; 2) El insecto reacciona con encapsulación y fagocitosis celular; 3) El HE activa redes de respuesta en el insecto (estrés y antioxidantes).

sistémica de plantas, se reducirían los costes de dichas aplicaciones al requerirse menor cantidad de inóculo para colonizar a las mismas. Por último, el mercado de micoinsecticidas vendió 401,6 millones de dólares en 2016 y estableció una tasa de crecimiento anual de 19,1% (Marketreportsworld.com, 2019). Las ventas

de *B. bassiana* han alcanzado los 48 millones de dólares en 2019, y se espera que alcancen los 130 millones de dólares en 2024, siendo Norteamérica el mayor consumidor de este producto, seguido por Brasil, que tiene una participación de mercado del 23% (Mascarin y col., 2018; ReportsMonitor.com, 2019).

### manvert fosika

Registro Oficial de Producto Fitosanitario bajo el

EFICAZ CONTRA PHYTOPHTHORA EN CÍTRICOS

Actúa como barrera y reduce incidencia y severidad del patógeno

Controla la enfermedad desde la primera aplicación

EFICAZ CONTRA MILDIU EN VID

www.manvert.com

## Bibliografía

- ! Aira, M.J., Jato, V., Stchigel, A.M., Rodríguez-Rajo F.J. 2007. Aeromycological study in the Cathedral of Santiago de Compostela (Spain). *International Biodeterioration & Biodegradation* 60, 231–237.
- Alkhaibari, A.M., Carolino, A.T., Yavasoglu, S.I., Maffei, T., Mattoso, T.C., Bull, J.C., Richard, I.S., Butt, T.M. 2016. *Metarhizium brunneum* blastospore pathogenesis in *Aedes aegypti* larvae: attack on several fronts accelerates mortality. *PLoS pathogens* 12: e1005715.
- Butt, T.M., Coates, C.J., Dubovskiy, I.M., Ratcliffe, N.A. 2016. Entomopathogenic fungi: new insights into host–pathogen interactions. En: *Advances in genetics*. Academic Press. 307-364.
- Butt, T. M., Greenfield, B. P., Greig, C., Maffei, T. G., Taylor, J. W., Piasecka, J., Dudley, E., Abdulla, A., Dubovskiy, I.M., Garrido-Jurado, I., Quesada-Moraga, E., Penny, M.W., Eastwood, D.C. 2013. *Metarhizium anisopliae* pathogenesis of mosquito larvae: a verdict of accidental death. *PLoS One* 8: e81686.
- Eilenberg, J., Hajek, A., Lomer, C. 2001. Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl* 46, 387-400.
- Garrido-Jurado, I., Fernández-Bravo, M., Campos, C., Quesada-Moraga, E. 2015. Diversity of entomopathogenic Hypocreales in soil and phylloplanes of five Mediterranean cropping systems. *Journal of invertebrate pathology* 130, 97-106.
- Garrido-Jurado, I., Alkhaibari, A., Williams, S.R., Oatley-Radcliffe, D.L., Quesada-Moraga, E., Butt, T.M. 2016. Toxicity testing of *Metarhizium* conidia and toxins against aquatic invertebrates. *Journal of pest science* 89, 557-564.
- Garrido-Jurado, I., Resquín-Romero, G., Amarilla, S. P., Ríos-Moreno, A., Carrasco, L., Quesada-Moraga, E. 2017. Transient endophytic colonization of melon plants by entomopathogenic fungi after foliar application for the control of *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal of Pest Science* 90, 319-330.
- Goettel, M.S., Eilenberg, J., Glare, T., 2005. Entomopathogenic fungi and their role in regulation of insect populations. En: Gilbert, L.B., Latrou, K. (eds.), *Comprehensive molecular insect science*. Elsevier Pergamon, Oxford, UK.
- Jackson, M.A., Dunlap, Ch.A., Jaronski, S.T. 2010. Ecological consideration in producing and formulating fungal entomopathogens for use in insect biocontrol. *BioControl* 55, 129-145.
- Jaronski, S.T. 2010. Ecological factors in the inundative use of fungal entomopathogens. *BioControl* 55, 159-185.
- Marketreportsworld.com (2019). Global agricultural microbial market analysis (edition:2019) by growth rate, opportunity, key industry peers and forecast to 2023. Obtenido de <https://honestbusinessman24.com/2019/02/global-agricultural-microbial-market-analysis-edition2019-by-growth-rate-opportunity-key-industry-peers-and-forecast-to-2023/> (acceso el 1 de marzo de 2019).
- Mascarin, G.M., Lopes, R.B., Delalibera, J.r., Fernandes, E.K.K., Luz, C., Faria, M. 2018. Current status and perspectives of fungal entomopathogens used for microbial control of arthropod pests in Brazil. *Journal of Invertebrate Pathology*. doi: 10.1016/j.jip.2018.01.001.
- Ortiz-Urquiza, A., Keyhani, N.O. 2016. Molecular genetics of *Beauveria bassiana* infection of insects. En: *Advances in genetics*. Academic Press. 165-249.
- Pham, L.N., Dionne, M.S., Shirasu-Hiza, M., Schneider, D.S. 2007. A specific primed immune response in *Drosophila* is dependent on phagocytes. *PLoS Pathogens* 3. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.ppat.0030026>
- Quesada-Moraga, E., Santiago-Álvarez, C. 2008. Control biológico de plagas. En: *Phytoma España*. 98-120
- Quesada-Moraga, E., Navas-Cortes, J.A., Maranhao, E.A.A., Ortiz-Urquiza, A., Santiago-Alvarez, C. 2007. Factors affecting the occurrence and distribution of entomopathogenic fungi in natural and cultivated soils. *Mycological Research* 111, 947–966.
- Quesada-Moraga, E., Herrero, N., & Zabalgoceazcoa, Í. 2014. Entomopathogenic and nematophagous fungal endophytes. En: *Advances in endophytic research*. Springer, New Delhi.
- Reportsmonitor.com (2019). Global *Beauveria Bassiana* Market Growth (Status and Outlook) 2019-2024. Obtenido de: <https://www.reportsmonitor.com/report/351930/Beauveria-Bassiana-Market> (acceso el 1 de marzo de 2019).
- Roy, H.E., Steinkraus, D.C., Eilenberg, J., Hajek, A.E., Pell, J.K., 2006. Bizarre interactions and endgames: Entomopathogenic fungi and their arthropod hosts. *Annual Review of Entomology* 51, 331-357.
- Valero-Jiménez, C.A., Wieggers, H., Zwaan, B. J., Koenraadt, C.J., van Kan, J.A. 2016. Genes involved in virulence of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Journal of invertebrate pathology* 133, 41-49.
- Vega, F.E., Kaya, H.K. 2012. *Insect pathology*. Academic Press.