

Mecanismos de combate biológico

Microorganismos antagonistas

Pueden actuar mediante la supresión del fitopatógeno a través de dos tipos de mecanismos: los directos, los cuales se clasifican en **antagonismo por competencia, antibiosis o lisis y micoparasitismo**; y los indirectos, los cuales se basan en el **incremento de la resistencia inducida** y la **estimulación del crecimiento en la planta**.

La competencia por nutrientes y espacio cuando hay demanda por dos o más microorganismos puede ser activa por suplementos, material o espacio, intra o interespecífica, lo cual determinaría la densidad poblacional del microorganismo. La antibiosis es cuando la producción de antibióticos o metabolitos (enzimas) producidos por el microorganismo benéfico tiene un efecto directo en el crecimiento del fitopatógeno, dichos compuestos pueden ser volátiles o no volátiles. Por último, el hiperparasitismo, cuando causan interacciones que generan diferentes desórdenes morfológicos, los cuales pueden ser de tipo biotrófico, si aseguran los nutrientes de las células vivas del hospedero, o necrotrófico, si adquieren los nutrientes de las células muertas del hospedero, siendo destruido por las toxinas extracelulares producidas por el micoparásito, antes de invadirlo.

La resistencia inducida son las reacciones de defensa de una planta susceptible a un determinado organismo, activadas mediante agentes biológicos o abióticos, y como resultado la planta se vuelve resistente al patógeno. En este caso, la planta al tener contacto con el microorganismo antagonista produce sustancias de defensa llamadas fitoalexinas, de tal forma que el nivel tóxico alcanzado evita que otros microorganismos patógenos se puedan establecer, mientras que la estimulación del crecimiento de la planta se ve beneficiado, tanto foliar como radical, gracias a la cubierta protectora que logra el microorganismo en el tejido vegetal.

Ejemplos:

Trichoderma spp.: hongo micoparásito, presenta variaciones de color desde blanco, amarillento hasta verde intenso (**Figura n.1**), que produce un enrollamiento y constricción de las hifas del hongo hospedero, seguido de penetración y lisis de la membrana hifal, hasta desintegrar el protoplasma del fitopatógeno mediante la producción de antibióticos y enzimas. Además, estimula la producción de fitoalexinas (sustancia de defensas) en las plantas y contribuye al aumento del desarrollo foliar y radical.

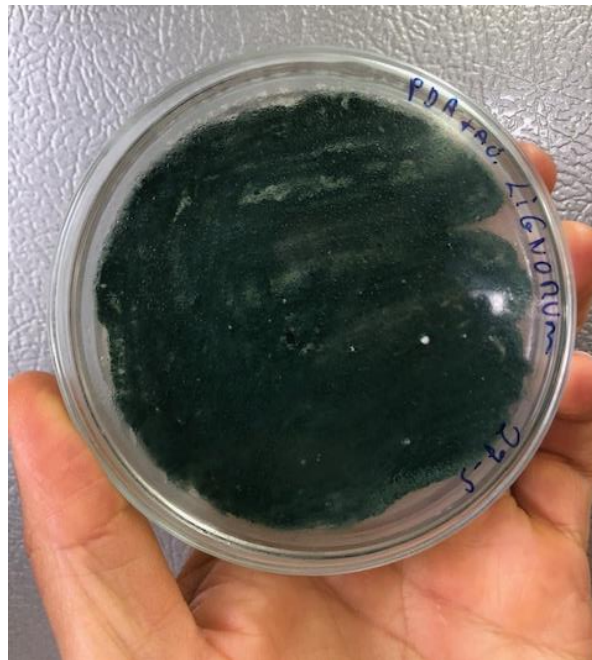


Figura n.1. Cultivo puro del micoparásito *Trichoderma lignorum*. Fuente: Lab. Fitoprotección CNEAO-INA.

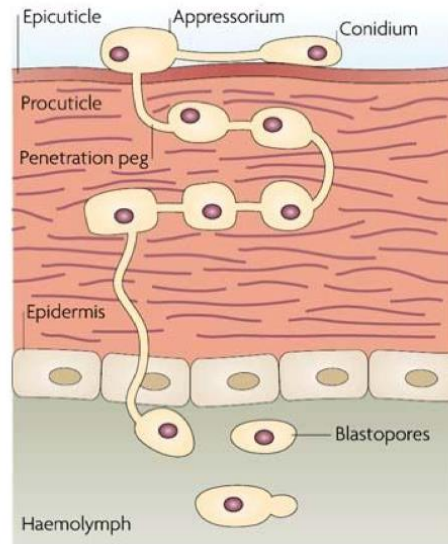
Bacillus subtilis: bacteria Gram positiva que produce antibióticos como iturin, subtilina y bacilopectina; bacteriocinas como subtilisinas contra bacterias fitopatógenas del mismo género y compuestos estimulantes para la germinación, el desarrollo radicular y rendimiento del cultivo.

Pseudomonas fluorescens: bacterias Gram negativas que se caracterizan por ser grandes solubilizadores de fósforo, y de localizarse a nivel de la rizosfera, donde estimulan el desarrollo radicular, inducen resistencia y, además, compiten por espacio y nutrientes contra el fitopatógeno.

Microorganismos entomopatógenos

En la naturaleza existe una gran variedad de microorganismos que pueden parasitar insectos, dentro de los cuales podemos mencionar a los hongos y bacterias entomopatógenas.

Los hongos entomopatógenos causan la muerte de insectos plaga mediante diferentes mecanismos de acción, en su ciclo de vida actúan en el cuerpo de los insectos mediante dos fases: la **parasítica** y la **saprofítica**. En la primera fase, ocurren cuatro pasos principales: **adhesión**, **germinación**, **diferenciación** y **penetración**. Cuando el hongo ingresa a través de la cutícula, por los espacios intersegmentales, con la participación de procesos físicos y químicos a través de las enzimas producidas (quitinasas, proteasas y lipasas) durante la germinación y penetración, actúan en un orden determinado por el sustrato de la cutícula, primero sobre la porción cerosa de la epicutícula y luego sobre la matriz de proteína y quitina (**Figura n.2**).



Nature Reviews | Microbiology

Figura n.2. Diagrama de penetración de un hongo entomopatógeno en un insecto. Tomado de *Nature reviews*.

Previo a la penetración del hongo, hay una actividad metabólica a nivel de apresorio, la cual ayuda a degradar la capa cerosa de la epicutícula con proteasas, aminopeptidas y esterases que facilitan el proceso de penetración. Otra vía de entrada es a través del tracto digestivo, pero generalmente los conidios no pueden germinar en el intestino. Durante la fase saprofítica, la multiplicación del hongo ocurre por gemación de blastosporas y producción de hifas dentro del hemocele del insecto, con un abundante crecimiento del hongo. Finalmente, el hongo invade los tejidos y como consecuencia ocurre la muerte del hospedante, y después de la muerte, el hongo emerge al exterior concluyendo con la producción de conidios sobre la superficie, rodeando el cadáver del insecto (**Figura n.3**) y permitiendo su diseminación.



Figura n.3. Picudo de palma aceitera (*Rhynchophorus palmarum*) parasitado por el hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae*. Fuente: Lab. Fitoprotección CNEAO-INA.

Las bacterias entomopatógenas son organismos unicelulares que miden entre menos de un micrómetro a varios micrómetros. Se caracterizan por no poseer núcleo definido y reproducirse mediante fisión binaria, además de clasificarse en dos categorías: las productoras de esporas y las no esporulantes, siendo de mayor interés por su facilidad de reproducción las esporulantes.

Las bacterias pertenecientes a la familia *Bacillaceae* pueden formar esporas y poseer una alta persistencia en el ambiente, además de ser muy virulentas e invasivas, capaces de producir muchas toxinas.

Ejemplos:

Beauveria sp: hongo entomopatógeno de apariencia blanca cremosa y polvoriento que puede atacar a más de 500 especies de insectos. Sus condiciones óptimas de crecimiento son temperaturas entre 23 y 28 °C, con 90 % de humedad relativa. Afecta insectos plaga como broca del café (*Hypothenemus hampei*), polilla del repollo (*Plutella xylostella*), y picudo del plátano (*Cosmopolites sordidus*), entre otros.

Metarhizium sp: hongo entomopatógeno de apariencia verde oliva y polvoriento. Crece bien en temperaturas entre 25 y 27 °C, con 90 % de humedad relativa. Controla aproximadamente más de 40 tipos de abejas, 20 tipos de larvas de mariposas, mosca blanca (*Bemisia tabaci*), cucarachas (*Blattodea*), termitas (isópteros), pulgas (*Siphonaptera*), garrapatas (*Ixodoidea*) y jobotos (*Phyllophaga spp*), entre otros.

Bacillus popilliae: bacteria Gram negativa causante de la enfermedad lechosa en al menos 29 especies de Escarabeidos, principalmente *Melolonthinae* y *Rutelinae*. Las esporas que produce tienen la capacidad de resistir a la desecación y a la radiación; además, su alta longevidad en larvas muertas le permiten ser una excelente opción. El esporangio posee dos partes: la spora y el cristal proteico paraesporal; cuando la bacteria es ingerida por el insecto, la spora germina en el intestino y penetra la pared intestinal causando infección en la hemolinfa provocando una bacteremia.

Bacillus thuringiensis: bacteria Gram positiva, aeróbica o anaeróbica facultativa, que posee una spora central o terminal y un cristal proteico. Produce cristales de delta endotoxina gracias a los genes CRY que lo codifican logrando infectar Lepidoptera, Diptera y Coleoptera. También forma la exotoxina "Thuringiensis" a la cual son susceptibles las familias Diptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Coleoptera, Isoptera, Orthoptera, Hemiptera y Neuroptera. Las esporas de *Bt* entran al insecto por digestión, en el intestino se degrada el cristal mediante enzimas proteolíticas y el pH mayor a 9,5. Gracias a la adhesión de la endotoxina a sitios receptores sobre las células epiteliales del intestino, se producen poros en la membrana celular alterando la integridad del sistema intestinal y, por ende, la muerte del insecto provocada por la septicemia.

Microorganismos nematófagos

Los hongos nematófagos son microorganismos saprófitos por naturaleza habitantes del suelo con elevado contenido en materia orgánica, capaces de atacar, matar y digerir nematodos fitopatógenos en sus diferentes estadios (adultos, juveniles y huevos). Se dividen en cuatro grupos, dependiendo de su modo de infección:

- **Hongos atrapadores**

Poseen dos mecanismos diferentes en la función de las trampas: adhesivos y mecánicos. Inicialmente, el hongo penetra la cutícula del nematodo formando el bulbo de infección dentro del nematodo, a partir del cual las hifas crecen dentro del cuerpo y digieren sus contenidos. Un representante es el género *Arthrobotrys sp.*

- **Hongos endoparásitos**

Son parásitos obligados de nematodos, y fuera del cuerpo infectado aparecen solo como estructuras de diseminación. Las esporas de estos hongos pueden ser zoosporas móviles (como las de *Catenaria spp*) que se enquistan sobre el nematodo adhiriéndose a él y penetra la cutícula, conidios adhesivos (como en *Drechmeria coniospora*) o conidios que son ingeridos (*Harposporium sp.*) por los nematodos bacteriófagos.

- **Hongos parásitos de huevos**

Estos hongos infectan huevos de nematodos produciendo apresorios que se adhieren a la cubierta del huevo, esta es penetrada por el hongo y el contenido es digerido. Por ejemplo, los géneros *Pochonia sp.* y *Paecilomyces sp.*

- **Hongos productores de toxinas**

Las hifas del género *Pleurotus spp.* contienen una toxina llamada NRRL 3526 que logra inmovilizar al nematodo y estas crecen quimiotrópicamente (dirigidas) a través de la boca del nematodo.