

Trichoderma en la agricultura y la industria

Por Domenico Pavone

Trichoderma es un género de hongos muy utilizado en la agricultura y la industria gracias a sus múltiples mecanismos de acción y beneficios. Su capacidad de competir y producir sustancias tóxicas contra patógenos, estimular el crecimiento y la resistencia en plantas, entre otros beneficios, han hecho de *Trichoderma* en uno de los bioinsumos más usados a escala mundial. Además, sus aplicaciones en biorremediación, alimentación animal, producción de biocombustibles, entre muchas otras, lo convierten en uno de los organismos con mayor potencial biotecnológico. Conócelo y conviértelo también en tu aliado.

¿Qué es *Trichoderma*?

El género *Trichoderma* es un grupo de hongos filamentosos con múltiples funciones en la agricultura y la industria. Desde el punto de vista taxonómico pertenece al [Orden: Hypocreales](#), [Familia: Hypocreaceae](#). Se encuentran en casi todos los tipos de suelos y en materia orgánica en descomposición, especialmente madera y hojarasca. Son simbioses de plantas, oportunistas y no virulentos. Posee una gran importancia desde el punto de vista económico ya que son capaces de producir enzimas de interés industrial, sustancias con actividad antimicrobiana y pueden ser utilizados como agentes biocontroladores de enfermedades en plantas con variados

mecanismos de acción, entre otras funciones.

Beneficios de *Trichoderma* sobre las plantas.

En un suelo donde *Trichoderma* y las raíces de plantas están presentes (Figura 1), se desatan una serie de señales en forma de moléculas excretadas por las plantas que atraen a *Trichoderma*. Luego, ocurre el proceso de adhesión, penetración y colonización del sistema radical de la planta, que está mediado por unas proteínas llamadas hidrofobinas. Todas estas complejas interacciones dan como resultado modificaciones morfológicas en las plantas como un mayor crecimiento de raíces y partes aéreas.

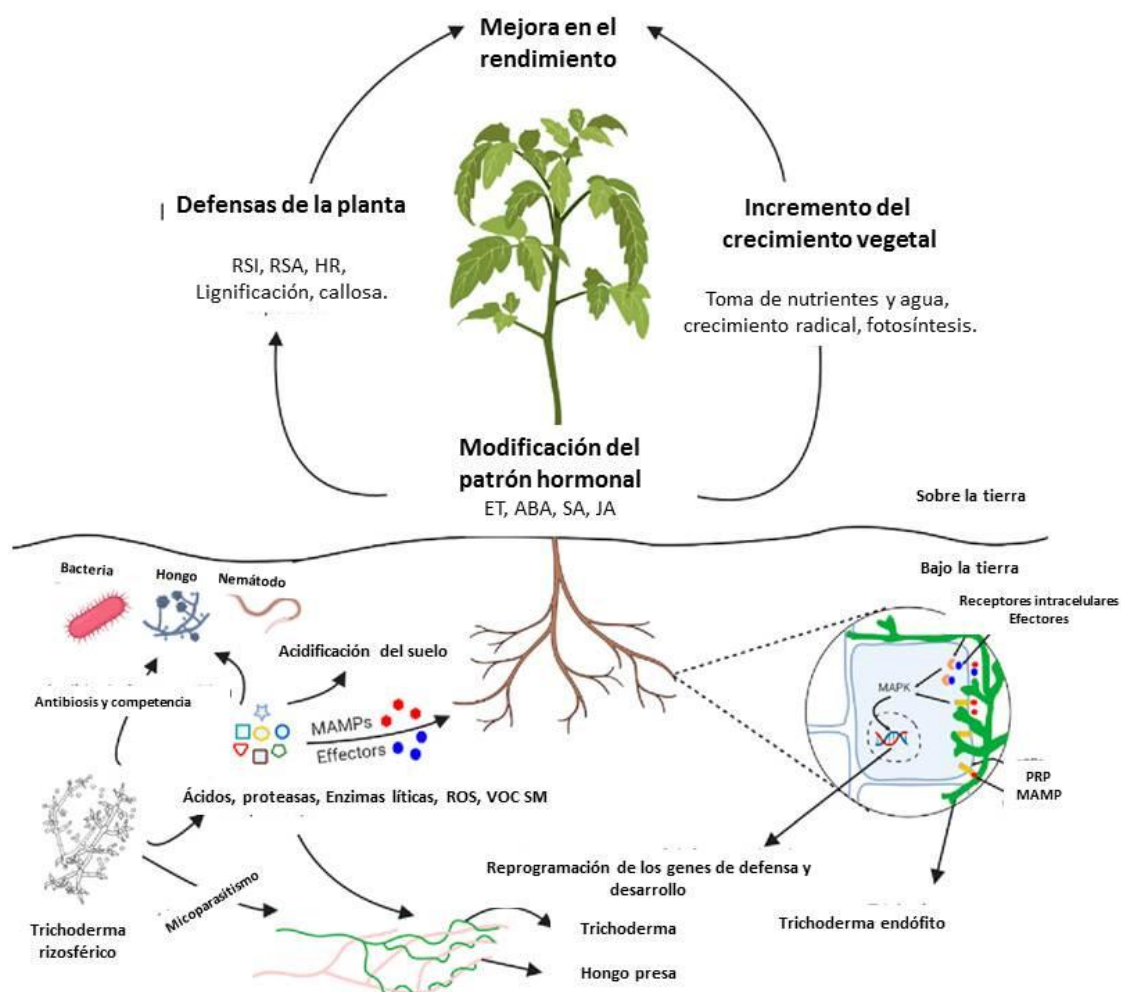


Figura 1. Múltiples interacciones entre *Trichoderma* y las plantas. Imagen original de [Alfiky & Weisskopf 2021](https://doi.org/10.3389/fpls.2021.674211).

La forma como *Trichoderma* es capaz de beneficiar a la planta está relacionada con el control de fitopatógenos, la promoción del crecimiento y la inducción de resistencia.

Micoparasitismo

La principal barrera en el ataque a hongos fitopatógenos por parte de *Trichoderma* es la pared celular, la cual es una estructura compleja, compuesta generalmente por quitina, polisacáridos y proteínas. El micoparasitismo ejercido por *Trichoderma* se basa en la producción de varios tipos de enzimas cuya función es digerir la pared

celular del hongo fitopatógeno. De esta forma, se permite la entrada de *Trichoderma* que utiliza el contenido celular como alimento y ejerce así su función de control. La inducción de enzimas quitinolíticas en *Trichoderma* es un evento temprano el cual es provocado por una señal de reconocimiento, como interacciones lectina-carbohidratos e incluso se ha postulado que este reconocimiento es el primer paso en una cascada de eventos antagónicos que disparan la respuesta parasítica. Otro evento importante que ocurre antes de la penetración es el enrollamiento de la hifa

del fitopatógeno por parte de las hifas de *Trichoderma* y el desarrollo del apresorio. La producción de hidrofobinas facilita la adhesión de *Trichoderma* al hospedador.

Antibiosis. La antibiosis es un proceso en el que están involucrados compuestos de bajo peso molecular con capacidad antibiótica. *Trichoderma* produce principalmente tres tipos de compuestos: peptaibols, poliketidos y terpenos, los cuales pueden ser volátiles o solubles, tales como: ácido harziánico, alameticina, tricolina, peptaiboles, antibióticos, 6-pentil- α -pirona, massoilactona, viridina, gliovirina, glisopreninas, ácido heptelídico, entre otros (Figura 2).

Muchas de estas sustancias ejercen un mejor efecto de control cuando actúan sinérgicamente con las enzimas degradadoras de la pared celular; incluso se ha demostrado la necesidad de la actuación de las enzimas previo a los antibióticos sobre el patógeno para ejercer un control eficiente. Así, la actividad antibiótica se combina de forma cooperativa con enzimas líticas y su acción dual ofrece un nivel superior de antagonismo. La desintegración inicial de la pared celular por las enzimas líticas acrecienta el ingreso del antibiótico dentro de la hifa del fitopatógeno.

Competencia. La competencia comprende la fungistasis y la competencia propiamente dicha por espacio o nutrientes en detrimento de otros organismos. Esta última, aunque es muy difícil de probar, es considerada el mecanismo "clásico" de control de *Trichoderma*. La fungistasis se refiere a la capacidad del biocontrolador de sobrellevar el efecto fungistático del suelo, debido a la presencia de otros organismos y sobrevivir bajo condiciones de competencia extrema. *Trichoderma* es capaz de crecer rápidamente en el suelo, debido a que es resistente a varias sustancias tóxicas, incluyendo algunos plaguicidas.

Trichoderma posee una gran capacidad de movilizar y tomar nutrientes del suelo, en comparación con otros organismos. El uso eficiente de los nutrientes disponibles permite que *Trichoderma* obtenga fácilmente ATP a partir del metabolismo de diferentes azúcares, tales como aquellos derivados de polímeros (celulosa, glucano, quitina, etc.). La alta eficiencia de este sistema de metabolismo de glucosa es crucial en el proceso de competencia el cual depende de un transportador de glucosa de alta afinidad (Gtt1) en algunas cepas de *Trichoderma*, presentes en ambientes muy pobres en nutrientes, y que es expresado sólo en condiciones de muy baja concentración de glucosa.

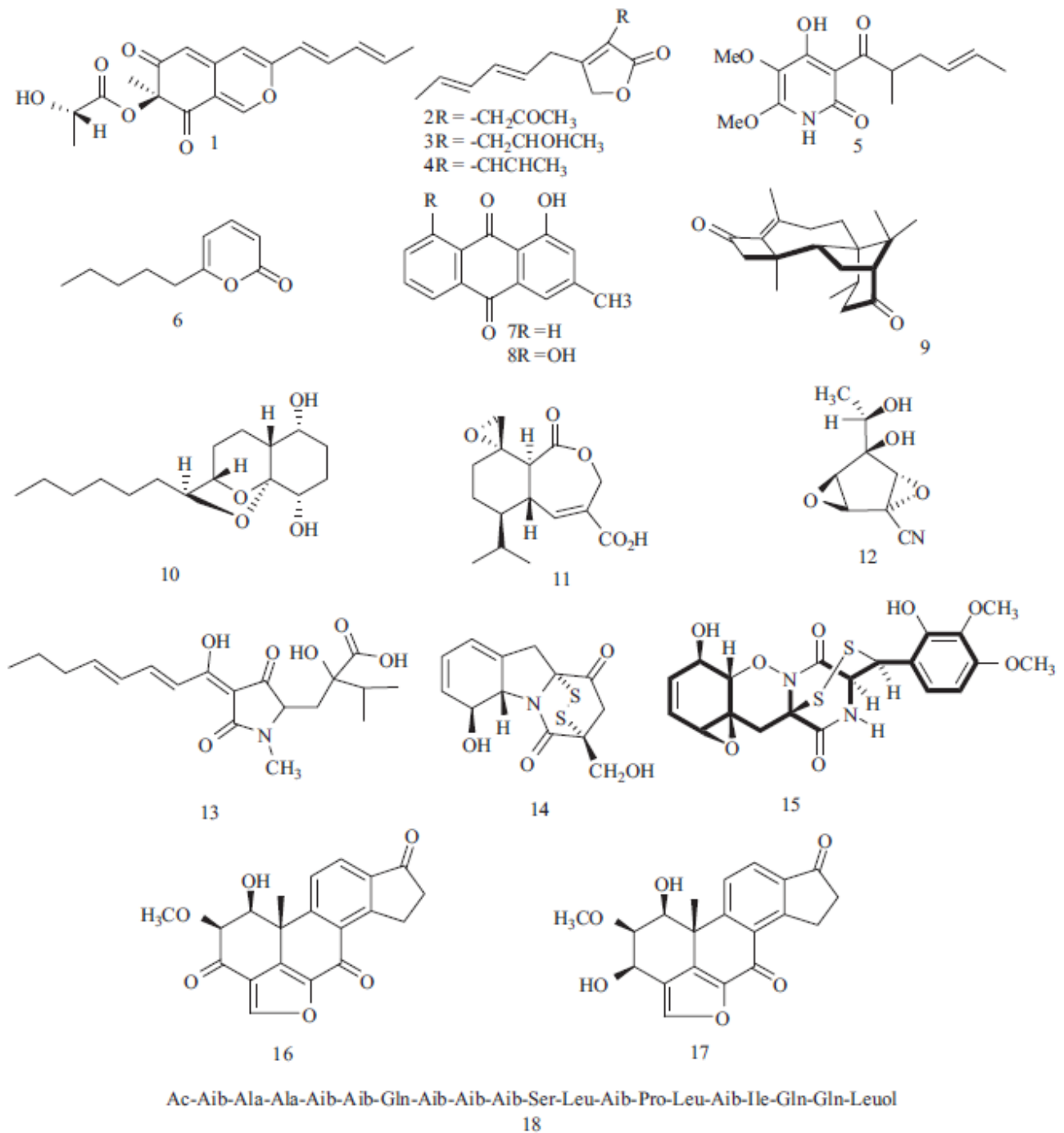


Figura 2. Estructuras químicas de metabolitos secundarios aislados de *Trichoderma* spp. 1: T22azaphilone; 2: T39butenolide; 3: harzianolide; 4: dehydro harzianolide; 5: harzianopyridone; 6: 6-pentyl-a-pyrone; 7: 1-hydroxy-3-methyl-anthraquinone; 8: 1,8-dihydroxy-3-methyl-anthraquinone; 9: harziandione; 10: koniginin A; 11: heptelidic acid; 12: trichoviridin; 13: harzianic acid; 14: gliotoxin; 15: gliovirin; 16: viridin; 17: viridiol; 18: trichorzianines.

Fuente: [Vinale et al., 2008.](#)

Promoción del crecimiento vegetal

Los procesos fisiológicos en la planta también son afectados positivamente por su interacción con *Trichoderma*. Por ejemplo, en plantas de arroz la presencia de *Trichoderma* incrementa significativamente la fotosíntesis, la apertura de los estomas (estructuras en las hojas por donde las plantas liberan O₂ e incorporan CO₂) y la eficiencia de uso de agua. Al incrementarse el crecimiento radical mejora la toma de nutrientes como el magnesio (Mg) elemento clave en la molécula de clorofila.

Algunas especies de *Trichoderma* son capaces de modificar la disponibilidad de nutrientes en el suelo al secretar varios tipos de ácidos como el cítrico que ayudan a solubilizar algunas formas inaccesibles de fósforo para la planta. La disponibilidad de hierro para la planta también mejora al excretar el hongo una serie de moléculas conocidas como sideróforos.

En algunos casos se ha confirmado que la presencia de *Trichoderma* mejora la respuesta de las plantas al estrés abiótico como la salinidad, el calor o el frío. También se han determinado aumentos de enzimas contra el estrés oxidativo como la superóxido dismutasa y peroxidasas.

La presencia de *Trichoderma* en las raíces de la planta causa alteraciones en el metabolismo entre las que se incluyen la síntesis de reguladores de crecimiento, metabolitos osmocompatibles, aminoácidos y compuestos fenólicos. También puede influir sobre la tasa fotosintética, la transpiración y el potencial hídrico en hojas. *Trichoderma* puede producir una proteína

que se une a la celulosa de la pared celular de las plantas llamada *Swolenina*. Así, *Trichoderma* puede acrecentar el área superficial de las raíces mejorando su establecimiento en la rizósfera.

Resistencia a patógenos

La inducción de resistencia por parte de la planta a patógenos es otro de los beneficios de la interacción con *Trichoderma*, la cual dispara una serie de señales que producen aumentos de metabolitos de defensa y enzimas, generado una respuesta de protección (Figura 1).

Si bien las plantas no poseen sistema inmunológico, si son capaces de percibir la presencia de ciertos microorganismos a través de los denominados patrones moleculares asociados a microbios (MAMP, por sus siglas en inglés). La habilidad de *Trichoderma* de liberar este tipo de patrones para su reconocimiento por parte de la planta, puede disparar una serie de señales en la misma.

La inducción de resistencia en plantas por la presencia de organismos benéficos como *Trichoderma* se le denomina Resistencia Sistémica Inducida (ISR, por sus siglas en inglés) y está mediada a través de rutas de señalización que dependen de fitohormonas como el ácido jasmónico (JA) y el etileno (ET) (Figura 3). Cuando un patógeno ataca una planta también se disparan una serie de señales hormonales de defensa pero que en este caso dependen de la ruta del ácido salicílico (SA), conociéndose esta respuesta a la presencia de patógenos como Resistencia Sistémica Adquirida (SAR, por sus siglas en inglés).

Así, *Trichoderma* actúa local y sistémicamente y su colonización en las raíces promueve la acumulación de enzimas y metabolitos antimicrobianos de defensa como: fenil amonio liasa, peroxidasa, polifenol oxidasa, proteínas PR, terpenoides, fitoalexinas tales como:

rishitina, lubimina, fitotuberol y coumarina, y antioxidantes como el ácido ascórbico y la glutatona. Cabe destacar que *Trichoderma* es resistente a todas estas sustancias y respuestas y se considera un prerrequisito para lograr colonizar las raíces de las plantas.

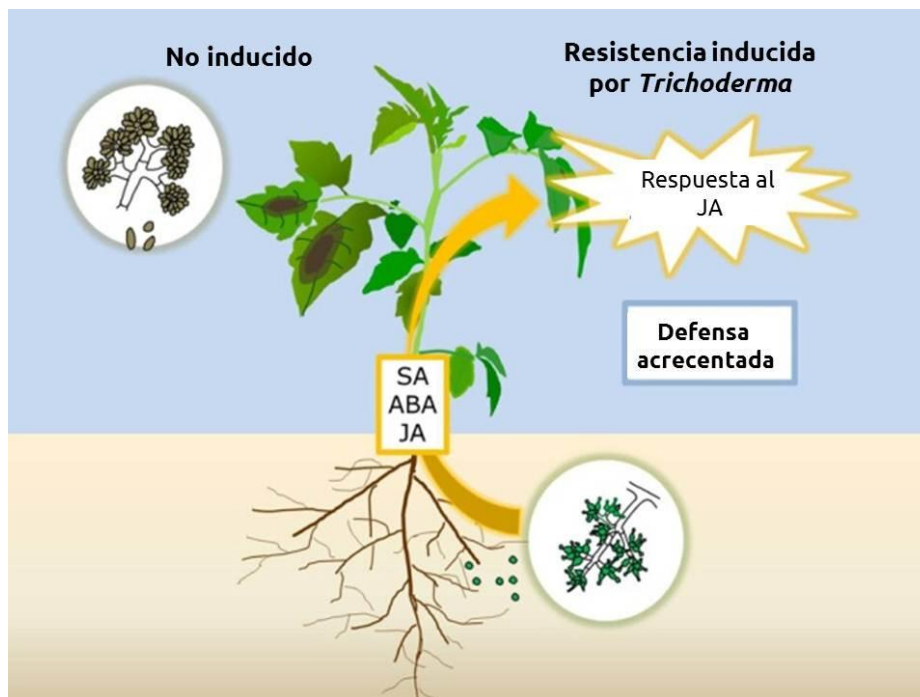


Figura 3. Respuestas de la planta a la presencia de *Trichoderma*. SA: ácido salicílico, ABA: ácido Abscísico, JA ácido jasmónico. Imagen original de [Martínez-Medina et al., 2013](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926641013000888).

Aplicaciones industriales de *Trichoderma*: Biorremediación, alimentación animal y biocombustibles.

Los usos de *Trichoderma* no se limitan a los agroecosistemas, ya que otras áreas de la industria también se benefician de las propiedades de este hongo. Así, *Trichoderma* se ha utilizado en procesos de biorremediación para eliminar contaminantes como fenoles, nitratos, hidrocarburos policíclicos aromáticos, DDT,

bioadsorción de cromo y cadmio, entre otros.

En alimentación animal, *Trichoderma* es útil por su producción de enzimas líticas como celulasas y pectinasas que ayudan a la digestibilidad del alimento por parte del animal y aumenta su valor nutricional. El micelio de *Trichoderma* también se ha utilizado como fuente de proteínas en alimentación animal.



Figura 4. Algunas aplicaciones industriales de *Trichoderma* son sus enzimas. Imagen original de [Sigma-Aldrich](https://www.sigmaaldrich.com).

En la industria, el potencial enzimático de *Trichoderma* también es aprovechado en la producción de fibras y la eliminación de lignina. En la industria alimentaria sus enzimas líticas pueden mejorar la producción de jugos y bebidas fermentadas como el vino y la cerveza. Incluso los compuestos producidos por *Trichoderma* con capacidad antimicrobiana tienen potencial en la industria farmacéutica. *T. reesei* es capaz de producir celulasas (Figura

4) muy utilizadas para la degradación de material lignocelulósico para la producción de bioetanol de segunda generación. Finalmente, *Trichoderma* se ha utilizado en la protección de madera contra hongos degradadores y en la protección de productos hortícolas y frutícola en la postcosecha.

Consideraciones finales.

Trichoderma es un hongo muy versátil y con mucha potencialidad de uso no solo en la agricultura sino también en la industria. Las formas de actuar de *Trichoderma* sobre la planta y los patógenos de estas son muchas y se ha evidenciado que estas interacciones dependen de una presencia temprana de *Trichoderma* en el cultivo. En el momento que la semilla germina y las raíces y tallo empiezan a crecer, es muy importante la presencia de *Trichoderma* para que este pueda colonizar desde el inicio los espacios e interactuar con los órganos de la planta en formación. Solo de esta forma será posible obtener los máximos beneficios del manejo biológico con *Trichoderma*. Por ello, siempre se recomienda impregnar la semilla con el hongo y aplicar en la zona de siembra incluso antes de sembrar. Un entendimiento de todas estas interacciones permitirá aplicaciones y usos biotecnológicos de *Trichoderma* más eficientes.



Domenico Pavone es biólogo y especialista en protección vegetal. 15 años como profesor universitario y autor de artículos científicos en microbiología, biotecnología, biocontrol de plagas y enfermedades agrícolas.