

# Uso de *Trichoderma* en el cultivo de frijol común

*Murillo Lobo Junior*

*Tariane Alves Machado-Rosa*

*Alaerson Maia Geraldine*

## Introducción

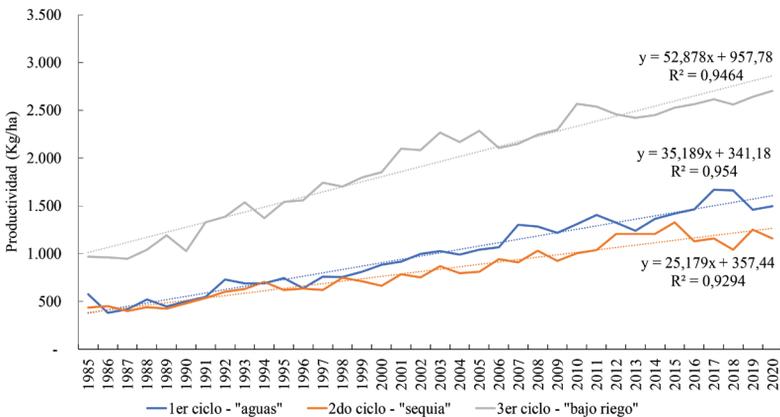
En Brasil, el tamaño del país, la amplia gama de especies cultivadas y sus respectivos problemas fitosanitarios han abierto innumerables posibilidades para el desarrollo de la aplicación del control biológico. El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) ha sido directamente beneficiado por la disponibilidad de bioproductos a base de *Trichoderma* spp. y otros microorganismos beneficiosos. A pesar de que el cultivo tiene, en promedio, un ciclo relativamente corto, en torno a los 90 días, esta especie está sujeta al ataque de una serie de patógenos de importancia económica, muchos de los cuales son controlados de forma insatisfactoria por los fungicidas sintéticos tradicionales y la resistencia genética.

Estas dificultades en el manejo fitosanitario del cultivo crearon condiciones para la adopción del control biológico, en sus diversas formas. Las acciones de biocontrol realizadas en Brasil y en el exterior generalmente se ocupan del uso de antagonistas específicos para controlar un patógeno específico, bajo la estrategia de control biológico aumentativo (Cruz, 2002), donde se busca aumentar la población de enemigos naturales por propagación y liberación o por manipulación ambiental. El control biológico aumentativo incluye prácticas agronómicas tradicionalmente realizadas para aumentar el número o el efecto de los antagonistas, como el tratamiento de semillas y aplicaciones dirigidas al surco de siembra o aplicaciones con barras de aspersión. Existen diferentes formas de inocular microorganismos benéficos o liberarlos periódicamente de forma inundativa, para controlar el patógeno objetivo. Entre las decenas de hongos y bacterias que pueden ser utilizados en biocontrol, varias especies pertenecientes al género *Trichoderma* se destacan entre los antagonistas más eficientes (Harman, 2000).

El control biológico también se puede lograr a través de la estrategia de “conservación”, donde existe un interés en preservar o aumentar las poblaciones de enemigos naturales mediante la manipulación o el manejo del agroecosistema. El biocontrol de enfermedades por “conservación” aparentemente está menos investigado que los métodos de inundación, pero es el resultado visible de prácticas de agricultura conservacionistas como el Sistema de Labranza Directa y la integración cultivo-ganadería. En este enfoque pueden incluirse estudios de impacto ambiental y supervivencia de los antagonistas después de su aplicación, según su interacción con las comunidades de microorganismos del suelo y los diferentes patógenos que coexisten en los sistemas de producción.

### Escenario de producción de frijol común en Brasil y sus enfermedades

Desde 2009 a 2019, hubo una caída en el área cultivada con frijol común en Brasil de 4,5 a 3,0 millones de hectáreas (Conab, 2019) y, en contraste, un aumento en la productividad promedio en los tres diferentes ciclos del cultivo (Figura 1). El uso de cultivares más productivos, la disponibilidad de nuevos insumos y avances en el manejo del cultivo son los principales factores responsables de la mayor productividad promedio, pero, a su vez, la intensificación del cultivo desencadenó el aumento de los problemas fitosanitarios. Con la intensificación de cultivos donde la planta de frijol se rota con uno o dos cultivos anuales más (a menudo soja y maíz), ha ocurrido un aumento de la presión de enfermedades en el campo. En los sistemas de producción de secano o riego, existen condiciones favorables para el desarrollo de un complejo de patógenos con una amplia gama de plantas hospedantes, que además son capaces de sobrevivir en el suelo, lo que puede hacer inviable el cultivo de frijol común.



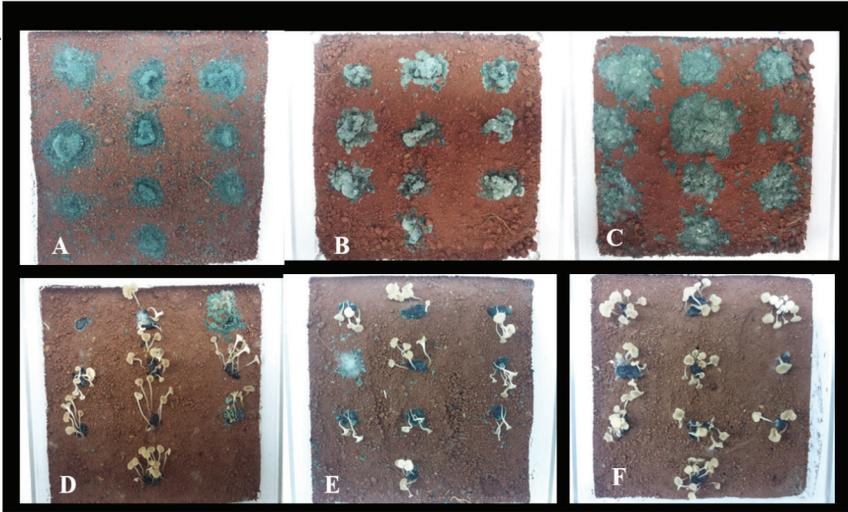
**Figura 1.** Evolución de la productividad promedio de frijol común en tres ciclos de cultivo, desde 1985 a 2017. Fuente: CONAB y Embrapa Arroz y Frijol.

Las enfermedades como la pudrición blanca causado por *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary y enfermedades de raíces causadas por complejos de especies de *Fusarium oxysporum* Schldl. y *Fusarium solani* (Mart.) Sacc., además de *Rhizoctonia solani* Kuhn son las principales enfermedades de la raíz en el frijol común, las cuales pueden ser mejor manejadas con la inclusión de agentes de biocontrol. Otras enfermedades como la pudrición de la raíz, la pudrición gris del tallo y los nematodos también provocan pérdidas de productividad y son controlables por bioagentes, pero aún existen pocos estudios sistemáticos sobre su manejo con antagonistas en este cultivo.

A pesar de los beneficios en la productividad y de la oferta de tecnologías e insumos, el desarrollo de estos sistemas productivos no ha estado acompañado de una reducción de los riesgos. En particular, los sistemas de riego por pivote central representan los casos más conocidos de acumulación de varios patógenos y plagas, beneficiados por la humedad proporcionada por el riego y por el “puente verde” formado por la sucesión de cultivos hospedantes. Entre los problemas casi omnipresentes, principalmente en el Centro-Sur del país, se destaca la pudrición blanca, siendo *S. sclerotiorum* una “plaga” no cuarentenaria reglamentada para los cultivos de frijol común, soja, algodón y girasol (Brasil, 2004) y que ocurre en más de 400 especies de plantas hospedantes (Boland; Hall, 1994). La pudrición blanca puede, en los casos más severos, matar las plantas afectadas, causando la pérdida total de la cosecha y haciendo que las áreas infestadas sean económicamente inviables. Solo para su control mediante el uso de productos químicos en frijol común, se estima que el costo adicional con fungicidas alcanza R\$ 650,00 ha<sup>-1</sup> y que, además, su eficiencia en áreas con más de 19 esclerocios m<sup>-2</sup> es limitada (Costa, 1997). La dependencia de fungicidas específicos para el control de la pudrición blanca junto con pérdidas en la producción llegó a más de R\$ 33 millones, sólo en el cultivo de frijol bajo riego en Goiás (Ricardo et al., 2008).

La pudrición blanca es una enfermedad monocíclica y la reducción del inóculo inicial (esclerocios) en el suelo por hongos y bacterias constituye un factor crucial para su control (Bae; Knudsen, 2007; Zachow et al., 2011; Zeng et al., 2012b; Geraldine et al., 2013). Los resultados más evidentes del control biológico de la pudrición blanca son la reducción del banco de esclerocios en el suelo (Figura 2), menor severidad de la enfermedad y aumento en los rendimientos del cultivo. El control químico también es beneficiado por la reducción del inóculo inicial, lo que lleva a un mejor control de la enfermedad. Estos resultados aumentan la confiabilidad del biocontrol y favorecen su inserción en el manejo integrado de la enfermedad.

Fotos: Murrillo Lobo Junior.

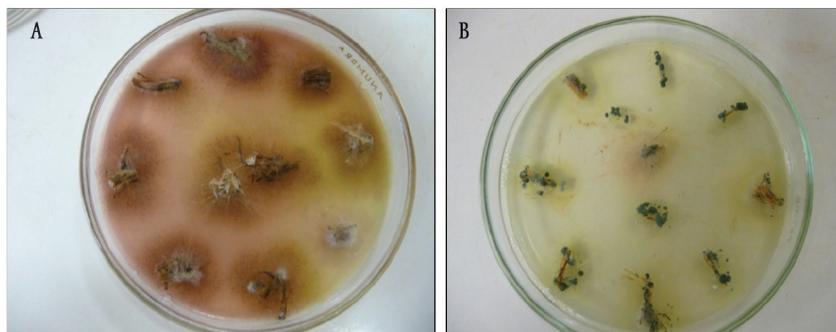


**Figura 2.** Diferencias entre *Trichoderma* spp. eficientes (A, B, C) e ineficientes (D, E) en el micoparasitismo de esclerocios de *S. sclerotiorum*. F = control sin tratamientos.

En las zonas bajo riego también destacan otros patógenos que habitan en el suelo, como los hongos *F. solani* y *R. solani* y varios fitonematodos, que provocan daños en el eje principal y pudriciones en las raíces primarias. Estas especies están presentes, respectivamente, en el 100% y 48% de los cultivos de frijol común en la Región Centro Oeste (Lobo Jr.; Louzada, 2005). Con la pérdida de las raíces primarias, las plantas no son capaces de absorber adecuadamente los nutrientes y el agua, volviéndose atrofiadas o dependientes de una fertilización y riego más intensivos, para compensar solo parcialmente este complejo de enfermedades responsables de una pérdida potencial de más del 40% de la productividad (Lobo hijo, 2005).

*Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* y *F. solani* forman clamidosporas como estructuras de resistencia. Los patógenos como *M. phaseolina* y *R. solani* tienen microesclerocios, que pueden sobrevivir en el suelo durante varios años. Las clamidosporas y los esclerocios pueden estar en la superficie o debajo del suelo, lo que dificulta la acción de los fungicidas. Estos patógenos también pueden propagarse a través de semillas e implementos agrícolas infestados, lo que facilita su dispersión a larga distancia. Tanto *F. oxysporum* f. sp. *phaseoli*, *F. solani* y *R. solani* sobreviven indefinidamente en el suelo, por colonización de la materia orgánica muerta. Este complejo de patógenos de raíces reduce la eficiencia del uso de nutrientes y aumenta los costos de producción, provocando la reducción de la rentabilidad de los cultivos. Las consecuencias de estas pérdidas afectan, además del productor, a los agronegocios, a los consumidores y al medio ambiente.

El control biológico se utiliza para reducir el inóculo inicial y proteger las raíces de la pudrición. En los patosistemas discutidos aquí, este método se caracteriza por el uso de antagonistas que parasitan las estructuras de resistencia y las hifas, y por la protección de las plantas a través de la colonización del sistema radicular, la rizocompetencia (Figura 3). El método se puede combinar con el manejo integrado de la pudrición blanca, incluso para reducir la dependencia del uso de fungicidas sintéticos en la agricultura convencional.



**Figura 3.** Colonización de las raíces de frijol común por *Fusarium solani* (A) y por *Trichoderma* spp. (B), en tratamientos cultivados en el mismo sustrato infestado por el patógeno.

### **Trichoderma como agente de biocontrol**

La capacidad de las especies del género *Trichoderma* para controlar enfermedades de las plantas fue descubierta en la década de 1930 por Weindling (1932) y, en los años siguientes, se realizaron cientos de estudios que demostraron el potencial de este género en el control biológico. El género *Trichoderma* tiene una amplia distribución en suelos de todo el mundo, en casi todos los tipos de suelos. Este hongo suele ser agresivo en la competencia por los nutrientes y los exudados de las plantas (Samuels, 2004). También se puede observar su presencia sobre restos vegetales colonizados por patógenos, lo que confirma su carácter parasitario y su potencial como agente de biocontrol.

Las especies de *Trichoderma* tienen varias características que favorecen su supervivencia en el suelo, así como también los hace ventajosos como agentes de biocontrol. Son saprofitos, con una capacidad de colonización rápida del sustrato (Figura 4), tienen requerimientos nutricionales mínimos; producen clamidosporas, que son estructuras de resistencia para sobrevivir en condiciones climáticas adversas; producen sustancias tóxicas (antibióticos), así como enzimas degradadoras de la pared celular de otros hongos (quitinasas, glucanasas, entre otras) y también son capaces de degradar diversos carbohidratos estructurales y no estructurales (Geraldine et al., 2013; Troian et al., 2014).



Foto: Marjillo Lobo Jiménez

**Figura 4.** Colonización del pasto por *Trichoderma* spp. en un suelo cultivado bajo un sistema de labranza cero.

Existen más de 250 especies conocidas dentro del género *Trichoderma* (Bissett et al., 2015), pero algunas de ellas, como *T. harzianum* y *T. asperellum*, habitantes naturales de los suelos, son las más utilizadas para el biocontrol. Estas especies también promueven la inducción de las defensas de la planta contra diversos patógenos (Howell, 2003) y el crecimiento de las plantas a través de la síntesis de fitohormonas como el ácido indol-3-acético (IAA).

*Trichoderma* es el agente de biocontrol más estudiado en el mundo (Lorito et al., 2010), debido a sus diferentes mecanismos de acción, con cientos de estudios que avalan su eficacia en el control biológico y en la promoción del crecimiento de la planta. En Brasil, el número de productos comerciales a base de *Trichoderma* registrados legalmente en el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento (Mapa) ha crecido, sin embargo, ún es limitado. Por lo tanto, existe la necesidad de realizar estudios sistematizados con el objetivo de explorar la diversidad de este antagonista en los suelos brasileños, con el fin de prospectar nuevas cepas con alta eficiencia en la promoción del crecimiento de las plantas y el biocontrol de enfermedades.

Según Samuels y Hebbar (2015), los aislados de *T. harzianum*, solos o en combinación con otras especies de *Trichoderma* o adyuvantes químicos, han sido utilizados para el control de enfermedades. En una encuesta realizada por Bettiol y Morandi (2009), se identificaron 13 empresas que producían y comercializaban *Trichoderma*. En esta revisión, los autores señalaron que los patógenos-objetivo de los productos hechos a base de *Trichoderma* incluyen: *Fusarium* spp., *Pythium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Macrophomina* spp., *Botrytis* spp., *Crinipellis*

spp. y *S. sclerotiorum*, principalmente para frijol común, soja, algodón, fresa, cebolla, ajo, plantas ornamentales y cacao. La oferta de biofungicidas y nematocidas microbiológicos fue facilitada a partir de 2013, con la autorización por parte del MAPA para el registro de nuevos productos para cada objetivo biológico. Actualmente existen varias opciones para el control de hongos y nematodos que afectan al frijol común, con predominio de *T. harzianum* y *T. asperellum* para el control de hongos patógenos, como se describe en el capítulo 2.

Los mecanismos de acción de *Trichoderma* spp. pueden actuar sinérgicamente y dependen del aislamiento, el patógeno objetivo, el cultivo agrícola y las condiciones ambientales, como la disponibilidad de nutrientes, el pH, la temperatura y la humedad. Varias especies de *Trichoderma* se encuentran comúnmente en la rizosfera, que comprende la zona de influencia del suelo que rodea las raíces. Las raíces secretan compuestos que atraen a numerosos microorganismos, incluidos antagonistas y fitopatógenos. La disponibilidad de nutrientes derivados de los exudados de las raíces y la variedad de microorganismos, blancos potenciales de *Trichoderma*, pueden haber atraído a los ancestros de este género para asentarse en la rizosfera, facilitando la evolución de las interacciones con la planta (Druzhinina et al., 2011).

Los mecanismos más fácilmente evidenciados en las interacciones antagónicas entre *Trichoderma* y los fitopatógenos del suelo son: el micoparasitismo, la antibiosis y la competencia. En el micoparasitismo, el antagonista detecta el patógeno mediante estímulos químicos en el suelo y crece hacia él, produciendo enzimas hidrolíticas que ayudan en la degradación de la pared celular del patógeno. El micelio de *Trichoderma* se enrolla alrededor de la hifa o estructura de resistencia de la planta hospedante y luego inicia el proceso de micoparasitismo. El agente de biocontrol penetra en la pared celular del hospedante y utiliza el contenido celular como fuente de alimento a través de enzimas hidrolíticas como quitinasas, glucanasas y proteasas que desempeñan funciones clave en el control biológico (Samuels; Hebbbar, 2015).

El análisis comparativo del genoma de *T. atroviride*, *T. virens* y *T. reesei* mostró que la capacidad como micoparásito es innata al género (Kubicek et al., 2011), pero durante la interacción con *R. solani* las estrategias utilizadas por estas especies de *Trichoderma* son diferentes (Atanasova et al., 2013). Además, los niveles de expresión de genes ligados al biocontrol pueden variar según la estructura del hongo que se parasite, en este caso, micelio, esclerocio o apotecio (Troian et al., 2014), demostrando que existen posibilidades de ajuste a la selección de antagonistas para micoparasitismo, según el objetivo deseado.

La antibiosis se define como la interacción entre organismos en la que los individuos de una población secretan metabolitos capaces de inhibir o impedir el desarrollo de los individuos de una población de otra especie (Bedendo et al., 2011). *Trichoderma* produce metabolitos secundarios, como antibióticos y enzimas hidrolíticas, volátiles o no volátiles, capaces de

inhibir o destruir propágulos de diferentes patógenos (Harman, 2000). Entre los diversos metabolitos producidos, la 6-pentil-pirona (6PP) es un compuesto orgánico volátil común de *Trichoderma*, responsable del aroma a coco y la pigmentación amarilla en algunas especies (Hermosa et al., 2013), que inhibe el crecimiento de patógenos como *Fusarium oxysporum* (Rubio et al., 2009). La antibiosis juega un papel importante en el control biológico de las enfermedades de las raíces, pero sus efectos son difíciles de separar del micoparasitismo en condiciones de campo. Sin embargo, Ethur et al. (2001), en pruebas *in vitro*, confrontaron directamente a *Trichoderma* spp. y *S. sclerotiorum* y observaron que los agentes de biocontrol mostraron hasta un 93% de inhibición del crecimiento del patógeno, aunque el agente de biocontrol también puede utilizar otras formas de antagonismo.

Además de los mecanismos clásicos, el micoparasitismo y la antibiosis, las especies de *Trichoderma* también pueden inhibir fitopatógenos por otros medios, como la competencia por nutrientes y espacio (Chet, 1987). La competencia en la rizosfera (o rizocompetencia) de *Trichoderma* evalúa la capacidad del microorganismo para establecerse en la rizosfera de las plantas y competir con otros microorganismos (Howell, 2003). Este autor destaca que si bien la rizocompetencia no es el principal mecanismo que favorece el control biológico, esta habilidad puede considerarse un factor complementario.

En el caso del frijol común, la colonización del sistema radicular es una premisa básica para la protección de las plantas y la prevención del ataque de nematodos y hongos causantes de pudriciones, donde es posible encontrar aislados de *Trichoderma* que combinan esta y otras características deseables, como el micoparasitismo y la antibiosis (Figura 5).

Foto: Murillo Lobo Junior.



**Figura 5.** Parcela de frijol tratado con *Trichoderma harzianum* con efectos de micoparasitismo, antibiosis, promoción del crecimiento vegetal y rizocompetencia (izquierda) y control (derecha), de un ensayo en un área comercial en Cristalina, GO.

La relación simbiótica entre las especies de *Trichoderma* y la planta puede dar como resultado la inducción de resistencia sistémica (SRI) y la promoción del crecimiento. La colonización de las raíces activa los mecanismos de defensa en las plantas. La inducción de la resistencia a enfermedades por parte de *Trichoderma* se produce mediante el desencadenamiento de una serie de cambios morfológicos y bioquímicos en la planta, que conducen a la activación de sus mecanismos de defensa frente a diversos fitopatógenos. En los últimos años, numerosos estudios sobre la inducción de resistencia en plantas por parte de *Trichoderma* han demostrado que es un mecanismo común e importante en el control biológico (Gomes et al., 2015).

Los metabolitos secundarios secretados, en bajas concentraciones, actúan como patrones moleculares asociados a microorganismos, los cuales son reconocidos por la planta, iniciando una cascada de señalización mediada por el ácido jasmónico y el etileno para posteriormente activar los mecanismos de defensa de la planta (Harman et al., 2004; Hermosa et al., 2012). Entre los ejemplos de los mecanismos de defensa se incluyen la deposición de calosa y celulosa en las paredes celulares y la liberación de compuestos fenólicos. Algunas respuestas de defensa se activan solo después de que el patógeno ataca y pueden resultar en una respuesta más rápida y fuerte (Shoresh et al., 2010).

### ***Trichoderma* como promotor del crecimiento de la planta**

La promoción del crecimiento en la planta por *Trichoderma* spp. ha sido descrita en diferentes cultivos, incluido el frijol común (Hoyos-Carvajal et al., 2009; Pedro et al., 2012), y puede observarse fácilmente como resultado del tratamiento de semillas u otras formas de aplicación (Figura 6). La promoción del crecimiento vegetal por especies de *Trichoderma* se da a través de la producción de giberelinas y auxinas como AIA (Hermosa et al., 2012), que favorecen el desarrollo de raíces laterales. La colonización de raíces resultante aumenta el crecimiento y desarrollo del área de raíces y hojas, aumenta la productividad de los cultivos y, como consecuencia, permite que las plantas resistan mejor el estrés abiótico, como las sequías, además de ayudar a la absorción y utilización de nutrientes (Harman et al., 2004).

Foto: Murillo-Lobo Junior.



**Figura 6.** Promoción del crecimiento de plántulas de frijol común después del tratamiento de semillas con un aislado de *Trichoderma* spp. y el tratamiento control.

En áreas comerciales con suelos infestados por patógenos, la promoción del crecimiento en plantas de frijol común por parte de *Trichoderma* también puede ser consecuencia del biocontrol por mecanismos de antibiosis, micoparasitismo y competencia. En ausencia de fitopatógenos, la capacidad del agente de biocontrol para promover el crecimiento y la productividad de las plantas también puede ocurrir a través de la solubilización de nutrientes minerales como el fósforo, debido a la acción de la enzima fosfatasa ácida (Harman et al., 2004).

La cepa T-22 de *T. harzianum*, por ejemplo, puede solubilizar varios nutrientes como roca fosfórica, hierro, cobre, manganeso y zinc, que pueden ser limitantes para las plantas en ciertos suelos (Altomare et al., 1999). Esta cepa produce el compuesto 6PP, que en bajas concentraciones regula el crecimiento de las plantas, contribuyendo a la producción de sistemas radiculares más extensos y desarrollados, que aumentan significativamente la altura de las plantas, el área foliar y la germinación de la semilla (Hermosa et al., 2013; Nieto-Jacobo et al., 2017).

Como se explicó anteriormente, algunas especies de *Trichoderma* pueden sintetizar la hormona vegetal AIA, lo que influye directamente en el crecimiento de las plantas. Las hormonas vegetales son reguladores naturales del crecimiento de las plantas, que influyen en los procesos fisiológicos a bajas concentraciones y pueden ser producidas por microorganismos distintos a *Trichoderma* spp., como bacterias y otros hongos.

El AIA está involucrado en procesos fisiológicos que incluyen la elongación y división celular, diferenciación de tejidos, regulación de las respuestas de crecimiento hacia la luz

(fototropismo), respuestas a las fuerzas de la gravedad (gravitropismo) y respuestas defensivas (Santner et al., 2009). Los exudados de las raíces del frijol común y otras especies son fuentes de L-triptófano, que es un precursor de la síntesis de IAA. Estas características hacen que la promoción del crecimiento vegetal sea una de las características más prometedoras para explotar la diversidad de especies de *Trichoderma*, y que posiblemente pueda competir en el interés científico y explotación comercial con su aplicación en biocontrol (Harman, 2011). Sin embargo, debido a que se conocen aislamientos que contienen ambas características deseables, se espera que el control biológico y la promoción del crecimiento de las plantas trabajen juntos proporcionando los beneficios del uso de este microorganismo beneficioso.

### **El control biológico como práctica eficiente y respetuosa con el medio ambiente**

La sociedad ha estado presionando a los sectores de producción agrícola para aumentar la oferta de alimentos más saludables, impulsada por la preocupación por los efectos potencialmente nocivos que algunos insumos químicos tienen sobre la salud humana y el medio ambiente (Bettiol; Morandi, 2009). De esta forma se ha estimulado el interés científico por el uso de microorganismos en una agricultura sostenible y productiva con bajo impacto ambiental. Brasil y otros países cuya economía se basa en la agricultura perciben esta necesidad y apoyan la implementación de sistemas de producción sostenibles, donde el control biológico es una herramienta indispensable.

Según Berg (2009), los inoculantes microbianos tienen varias ventajas sobre los productos químicos y son más seguros, ya que presentan un impacto ambiental reducido y un riesgo potencialmente menor para la salud humana. Los bioproductos se descomponen más rápido que los insumos químicos convencionales y pueden usarse tanto en sistemas convencionales o en un sistema de manejo integrado de enfermedades. La adopción de agentes de biocontrol en ciclos de cultivo sucesivos brinda protección a largo plazo, con beneficios que pueden permanecer durante el ciclo anual del cultivo (Harman, 2000).

En los últimos años, las investigaciones han demostrado que los microorganismos como *Trichoderma* spp. puede influir en las plantas de diferentes maneras, proporcionando soluciones prometedoras para la agricultura sostenible (Berg, 2009). La prospección de aislados de *Trichoderma* con alto potencial como agentes de biocontrol y promotores del crecimiento en plantas se ha incrementado en los últimos años. El desarrollo de bioproductos en Brasil sigue la investigación internacional, cuyo desarrollo ya puso a la venta más de 50 productos agrícolas a base de *Trichoderma* hasta 2015, en países como Nueva Zelanda (12 productos), EE. UU. (9 productos) y Vietnam (7 productos) (Samuels; Hebbbar, 2015). Siendo Brasil el mayor consumidor mundial de bioproductos a base de *Trichoderma* (Lorito et al.,

2010) y, de acuerdo con el potencial de expansión de este mercado, el país debería mantener su posición en este ranking.

El mercado mundial de plaguicidas biológicos tiene una tasa de crecimiento cinco veces superior a la de la industria de plaguicidas químicos. Las proyecciones realizadas por la Asociación Brasileña de Empresas de Control Biológico (ABCBio) muestran que las ventas de bioproductos pueden crecer entre 15 y 20% en los próximos años (ABCBio, 2016). Si bien los biofungicidas y nematocidas microbiológicos para promover el crecimiento de las plantas ya son una herramienta disponible, en el futuro se esperan nuevos agentes protectores contra los estreses abióticos generados por la salinidad, el déficit hídrico, las inundaciones y los metales pesados.

Se concluye que las plantaciones de frijol común son altamente beneficiadas por el biocontrol de enfermedades a través del uso de *Trichoderma*, como método para reducir el número de esclerocios de *S. sclerotiorum* en el suelo y proteger las raíces contra patógenos como especies *Fusarium* y *R. solani*. La selección de nuevos antagonistas puede mejorar los niveles de control ya obtenidos y ser asistida por marcadores bioquímicos o moleculares, asociados, por ejemplo, a la producción de enzimas que degradan la pared celular de los patógenos (Geraldine et al., 2013; Troian et al., 2014). Actualmente existe el potencial de micoparasitismo y muerte de aproximadamente el 70% de los esclerocios de *S. sclerotiorum* en el suelo en un ciclo de cultivo por medio de los antagonistas, y el biocontrol, asociado a otras formas de manejo, lo que permite obtener niveles aún mayores de control de la pudrición blanca. Considerando la importancia de otros patosistemas, los incentivos para el avance del conocimiento en esta área son muchos y las posibilidades de obtener nuevos aislamientos con potencial de biocontrol están lejos de agotarse.

## Referencias

- ABCBio. Associação Brasileira das Empresas de Controle Biológico. **Mercado de defensivo agrícola biológico tem boas perspectivas** no País. 2016. Disponible en: <<http://www.abcbio.org.br/conteudo/publicacoes/mercado-de-defensivo-agricola-biologico-tem-boas-perspectivas-no-pais/>>. Acceso el: 23 mar. 2017.
- ALTMARE, C.; NORVELL, W. A.; BORJKMAN, T.; HARMAN, G. E. Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant growth promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295–22. **Applied Environmental Microbiology**, Washington, v. 65, 1999.
- BAE, Y. S.; KNUDSEN, G. R. Effect of sclerotial distribution pattern of *Sclerotinia sclerotiorum* on biocontrol efficacy of *Trichoderma harzianum*. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 35, n. 1, p. 21-24, 2007.
- BAKER, K. F.; COOK, R. J. **Biological control of plant pathogens**. San Francisco: W. H. Freeman, 1974. 433 p.
- BEDENDO, I. P.; MASSOLA JUNIOR, N. S.; AMORIM, L. **Controle cultural, físico e biológico de doenças de plantas**. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIM FILHO, A. (Ed.). Manual de Fitopatologia. 4 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2011. p. 367-388.
- BERG, G. Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 84, n. 1, p. 11-18, 2009.

- BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. **Biocontrol de doenças de plantas: Uso e perspectivas.** In: MORANDI, M. A. B.; BETTIOL, W. (Ed). Controle biológico de doenças de plantas no Brasil. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 7-14.
- BISSETT, J.; GAMS, W.; JAKLITSCH, W.; SAMUELS, G. J. Accepted *Trichoderma* names in the year 2015. **International Mycological Association Fungus**, United States, v. 6, n. 2, p. 263-295, 2015.
- BOLAND, G. J.; HALL, R. Index of plant hosts of *Sclerotinia sclerotiorum*. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 16, n. 2, p. 93-108, 1994.
- BRASIL. **Portaria nº 3**, de 05 de janeiro de 2004. Diário Oficial da União no 3, de 06 de janeiro de 2005, Sección 1, p. 35-41.
- CHET, I. **Trichoderma - Application, mode of action, and potential as a biocontrol agent of soilborne pathogenic fungi.** In: CHET, I. (Ed). Innovative Approaches to Plant Disease Control. Nova York: Wiley and Sons, 1987. p. 137-160.
- COSTA, J. L. S. Soil inoculum density limiting the effectiveness of chemicals on the control of white mold on dry beans. In: An integrated approach to combating resistance, 1997. Harpenden-Herts. **Proceedings...**, 1997, p. 78-80.
- CRUZ, I. **Controle biológico em manejo integrado de pragas.** In: PARRA, J.R.P.; BOTELHO, P.S.M.; CORREA-FERREIRA, B.S.; BENTO, J.M.S. (Ed.). Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores. São Paulo: MANOLE, 2002. cap.32, p. 543.
- DRUZHININA, I. S.; SEIDL-SEIBOTH, V.; HERRERA-ESTRELLA, A.; HORWITZ, B. A.; KENERLEY, C. M.; MONTE, E.; MUKHERJEE, P. K.; ZEHLINGER, S.; GRIGORIEV, I. V.; KUBICEK, C. P. *Trichoderma*: the genomics of opportunistic success. **Nature Reviews Microbiology**, v. 9, p. 749-759, 2011.
- ETHUR, L. Z.; CEMBRANEL, C. Z.; SILVA, A. C. F. D. Seleção de *Trichoderma* spp. visando ao controle de *Sclerotinia sclerotiorum*, in vitro. **Ciência Rural**, v. 31, p. 885-887, 2001.
- GERALDINE, A. M.; LOPES, F. A. C.; CARVALHO, D. D. C.; BARBOSA, E. T.; RODRIGUES, A. R.; BRANDÃO, R. S.; ULHOA, C. J.; LOBO JUNIOR, M. Cell wall-degrading enzymes and parasitism of sclerotia are key factors on field biocontrol of white mold by *Trichoderma* spp. **Biological Control**, v. 67, p. 308-316, 2013.
- GOMES, E. V.; COSTA, M. N.; AZEVEDO, R. R.; PAULA, R. G.; SILVA, F. L.; NORONHA, E. F.; ULHOA, C. J.; MONTEIRO, V. N.; CARDOZA, R. E. L.; GUTIERREZ, S.; SILVA, R. N. The Cerato-Platanin protein Epl-1 from *Trichoderma harzianum* is involved in mycoparasitism, plant resistance induction and self-cell wall protection. **Scientific Reports**, v. 5, p. 17998, 2015.
- HARMAN, G. E. Myth and dogmas of biocontrol changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. **Plant Disease**, v. 84, n. 4, p. 377-393, 2000.
- HARMAN, G. E.; HOWELL, C. R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M. *Trichoderma* species - Opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Reviews Microbiology**, v. 2, n. 1, p. 43-56, 2004.
- HARMAN, G. E. *Trichoderma* - not just for biocontrol anymore. **Phytoparasitica**, v. 39, n. 2, p. 103-108, 2011.
- HERMOSA, R.; RUBIO, M. B.; CARDOZA, R. E.; NICOLÁS, C.; MONTE, E.; GUTIÉRREZ, S. The contribution of *Trichoderma* to balancing the costs of plant growth and defense. **International Microbiology**, v. 16, p. 69-80, 2013.
- HOYOS-CARVAJAL, L.; ORDUZ, S.; BISSETT, J. Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. **Biological Control**, v. 51, n. 3, p. 409-416, 2009.
- HOWELL, C. R. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. **Plant Disease**, v. 87, p. 4-10, 2003.
- KUBICEK, C. P.; HERRERA-ESTRELLA, A.; SEIDL-SEIBOTH, V. et al. Comparative genome sequence analysis underscores mycoparasitism as the ancestral life style of *Trichoderma*. **Genome Biology**, v. 12, n. 4, p. R40, 2011.
- LOBO JUNIOR, M. **Controle de Podridões Radiculares no Feijoeiro Comum com o Fungicida Microbiano Trichoderma.** In: Tarcísio Cobucci; Flávio Jesus Wruck. (Org.). Resultados obtidos na Área Pólo de Feijão no período de 2002 a 2004. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2005, p. 13-17.
- LOBO JUNIOR, M.; LOUZADA, G. A. S. Densidade de inóculo de *Fusarium solani* e *Rhizoglyphus solani* em áreas cultivadas com o feijoeiro, na região Centro-Oeste. In: Congresso Nacional de Pesquisa de Feijão, 2005, Goiânia. **Anais...** VIII Congresso Nacional de Pesquisa de Feijão - Série Documentos n 182, 2005. p. 170-173.

- LORITO, M.; WOO, S. L.; HARMAN, G. E.; MONTE, E. Translational Research on *Trichoderma*: From 'Omics to the Field. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, p. 395-417, 2010.
- NIETO-JACOBO, M. F.; STEYAERT, J. M.; SALAZAR-BADILLO, F. B.; NGUYEN, D. V.; ROSTÁS, M.; BRAITHWAITE, M.; DE SOUZA, J. T.; JIMENEZ-BREMONT, J. F.; OHKURA, M.; STEWART, A.; MENDOZA-MENDOZA, A. Environmental growth conditions of *Trichoderma* spp. affects indole acetic acid derivatives, volatile organic compounds, and plant growth promotion. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 102, 2017.
- PAPAVIZAS, G. C. *Trichoderma* and *Gliocladium*: biology, ecology, and potential for biocontrol. **Annual Review of Phytopathology**, v. 23, n. 1, p. 23-54, 1985.
- PEDRO, E. A. S.; HARAKAVA, R.; LUCON, C. M. M.; GUZZO, S. D. Promoção do crescimento do feijoeiro e controle da antracnose por *Trichoderma* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1589-1595, 2012.
- RICARDO, T. R.; WANDER, A. E.; LOBO JUNIOR, M. Custos associados ao mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em feijoeiro comum de 3ª safra em Goiás. In: X Congresso Nacional de Feijão, 2008, Campinas. **Documentos**. Campinas, SP: Instituto Agronômico de Campinas, 2008. v. 85. p. 787-790.
- RUBIO, M. B.; HERMOSA, R.; REINO, J. L.; COLLADO, I. G.; MONTE, E. Thctf1 transcription factor of *Trichoderma harzianum* is involved in 6-pentyl-2H-pyran-2-one production and antifungal activity. **Fungal Genetics and Biology**, v. 46, n. 1, p. 17-27, 2009.
- SANTNER, A.; CALDERON-VILLALOBOS, L. I. A.; ESTELLE, M. Plant hormones are versatile chemical regulators of plant growth. **Nature Chemical Biology**, v. 5, n. 5, p. 301-307, 2009.
- SAMUELS, G. J. **Trichoderma: A guide to identification and biology**. Beltsville: Agricultural States Department of Agriculture, 2004.
- SAMUELS, G. J.; HEBBAR, P. K. **Developing Trichoderma-Based Products for Application in Agriculture**. In: SAMUELS, G. J.; HEBBAR, P. K. (Ed.). **TRICHODERMA: identification and agricultural applications**. Saint Paul: American Phytopathological Society, 2015. p. 7-34.
- SHORESH, M.; HARMAN, G. E.; MASTOURI, F. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, p. 21-43, 2010.
- TROIAN, R. F.; STEINDORFF, A. S.; RAMADA, M. A. S.; ARRUDA, W.; ULHOA, C. J. Mycoparasitism studies of *Trichoderma harzianum* against *Sclerotinia sclerotiorum*: evaluation of antagonism and expression of cell wall-degrading enzymes genes. **Biotechnology Letters**, v. 2, p. 1-6, 2014.
- WEINDLING, R. *Trichoderma lignorum* as a parasite of other soil fungi. **Phytopathology**, v. 22, p. 837-845, 1932.
- ZACHOW, C.; GROSCH, R.; BERG, G. Impact of biotic and a-biotic parameters on structure and function of microbial communities living on sclerotia of the soil-borne pathogenic fungus *Rhizoglyphus solani*. **Applied Soil Ecology**, v. 48, n. 2, p. 193-200, 2011.
- ZENG, W.; KIRK, W.; HAO, J. Field management of *Sclerotinia* stem rot of soybean using biological control agents. **Biological Control**, v. 60, n. 2, p. 141-147, 2012.