

Trichoderma: recurso microbiológico y sus aplicaciones en la agricultura en Yucatán, México

Los productos sintéticos como nematicidas, fungicidas y fertilizantes empleados en la producción agrícola, contaminan suelo, agua y ocasionan daño a la salud de los productores y consumidores. Una alternativa al uso de estos agroquímicos son los microorganismos que habitan en el suelo, como los hongos del género *Trichoderma*, que promueven el crecimiento de cultivos y controlan enfermedades de plantas que se originan en la raíz, lo que favorece el cultivo agrícola libre de agroquímicos sintéticos. En esta nota se dan a conocer los modos de acción de *Trichoderma* y los avances de estudios realizados con cepas nativas del estado de Yucatán, para el control de patógenos en solanáceas.

Palabras clave:
Ascomycota,
biocontrolador,
cultivos tropicales,
fungi, microorganismo,
promotor de crecimiento.

ELIZABETH HERRERA-PARRA¹, MANUELA REYES-ESTÉBANEZ²,
JAIRO CRISTÓBAL-ALEJO^{3,4}, CAROLINA BASTO-POOL¹,
MANUEL ZAVALA-LEÓN¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental Mocochoá. Km. 25 carretera antigua Mérida-Motul, Mocochoá, 97450, Yucatán, México.

²Universidad Autónoma de Campeche. Departamento de Microbiología Ambiental y Biotecnología. Av. Agustín Melgar y Juan de la Barrera. Col. Buenavista, 24039, San Francisco de Campeche, México.

³Tecnológico Nacional de México-Campus Conkal, Yucatán. Km. 16.3, antigua carretera Mérida-Motul, Conkal, 97345, Yucatán, México.

⁴jairoca54@hotmail.com

En los últimos años se ha incrementado la búsqueda de agentes microbianos para su aplicación como biofertilizantes y biocontroladores de plagas y enfermedades, para la producción de cultivos tropicales (Chávez-Díaz *et al.*, 2020), debido a la necesidad de consumir alimentos inocuos, disminuir daños a la salud y efectos deletéreos al ambiente y a la biodiversidad, que causan el uso de agroquímicos en la producción agrícola (Rendón-von y Dzul-Caamal, 2017). Entre estos agentes microbianos se encuentran los hongos del género *Trichoderma*, saprófitos cosmopolitas, organismos que se alimentan de plantas muertas, que por lo general se distribuyen en suelos de diferentes ecosistemas y suelos agrícolas (Zhang *et al.*, 2015). En general, cuando crecen en medios de cultivo artificiales, las cepas de este hongo muestran un crecimiento micelial rápido, con hifas blancas al inicio, que con el paso de los días, se tornan de color verde oscuro o amarillento, lo que indica la producción de esporas del hongo (Figura 1). Las esporas son unicelulares, ovaladas, hialinas, entre 3 a 5 micras de diámetro; las estructuras que producen las esporas llamados conidióforos, son hialinos y ramificados (Barnett y Hunter, 1972). Particularmente las especies de *Trichoderma* están en estrecha relación mutualista con las plantas, ya que pueden penetrar y establecerse en las primeras capas de células de la epidermis (Yedidia *et al.*, 2001).

Editores responsables: Ivón M. Ramírez Morillo, Diego Angulo y Néstor E. Raigoza Flores

Una buena colonización del hongo implica un reconocimiento para adherirse, penetrar y tolerar metabolitos tóxicos como: fitoalexinas, flavonoides, terpenos, derivados fenólicos, agliconas y otros compuestos antimicrobianos que producen las plantas para interactuar con el entorno (Ortuño *et al.*, 2013).

¿Cómo beneficia *Trichoderma* a los cultivos? las especies de *Trichoderma* presentan cuatro mecanismos de acción: el primero, asociado con la habilidad para competir por espacio y nutrientes para establecerse en la rizosfera y liberar moléculas de hierro (Fe), que favorecen la asimilación de iones de calcio (Ca), cobre (Cu) y zinc (Zn), además de producir los ácidos orgánicos glucónico y fumárico, de solubilizar fosfatos, micronutrientes y cationes de minerales como hierro (Fe), magnesio (Mg) y manganeso (Mn) que son asimilados por las plantas (Chen *et al.*, 2021). El segundo mecanismo, es la producción de metabolitos secundarios como: viridina, gliotoxina, gliovirina, que inhiben el crecimiento de hongos, la eclosión de huevos e inmovilización de estadios juveniles de nematodos (Zin

celulares para penetrar a los hongos y nematodos patógenos de la raíz, y alimentarse de sus contenidos (Bhattacharjee y Dey, 2014). El cuarto está asociado con la activación de mecanismos de defensa de la planta (Pocurull *et al.*, 2020) al producir la respuesta sistémica inducida, que prepara a la planta antes del ataque de algún fitopatógeno (Djonović *et al.*, 2006), aunque la efectividad de estos mecanismos depende de factores como: la cepa de *Trichoderma*, el patógeno a controlar, el cultivo agrícola y las condiciones edafoclimáticas. En reportes previos se demostró que el uso de cepas nativas presenta mayor efectividad, ya que están adaptadas a las condiciones abióticas, lo que favorece su establecimiento y la colonización de hospederos locales (Celis-Perera *et al.*, 2021).

Avances de estudios con cepas nativas en Yucatán. En el 2011 se iniciaron los muestreos de suelo y se obtuvieron 45 cepas de *Trichoderma*, de las cuales el 45 % fueron aisladas de campos de cultivo agrícolas y el 65 % de áreas sin cultivos agrícolas. Los primeros estudios se enfocaron a la evaluación *in vitro* del antagonismo de estas cepas contra patóge-

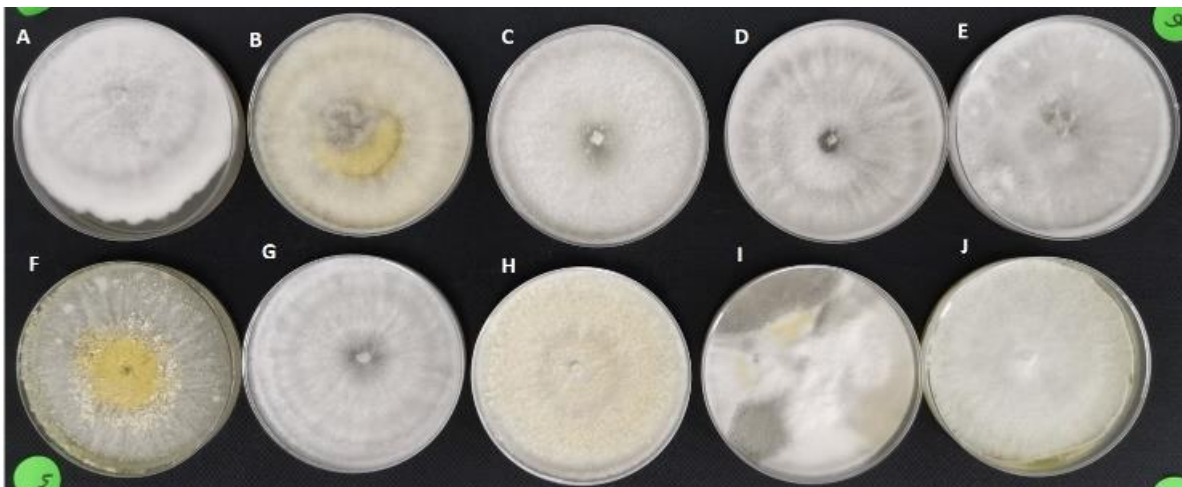


Figura 1. A-J. Cepas nativas de *Trichoderma* crecidas en medio de cultivo agar papa dextrosa. B-F-I. Se observa una pigmentación verde-amarillo que indica la presencia de esporas (Fotografías, Elizabeth Herrera Parra).

y Badaluddin *et al.*, 2020), que al establecerse en las raíces limitan la circulación de nutrientes del suelo. El tercero es un micoparasitismo, que implica la producción de enzimas como: quitinasas, glucanasas, quitobionas y peroxidases, que rompen las paredes

nos de importancia económica en solanáceas y cucurbitáceas del estado, como *Fusarium* sp., *Alternaria* sp., *Colletotrichum* sp. y *Cercospora* sp., aislados de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Reyes-Ramírez *et al.*,

2012) (Figura 2). Posteriormente se evaluó su actividad contra juveniles de segundo estadio del nematodo agallador *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood (Candelero *et al.*, 2015, Herrera-Parra *et al.*, 2018), donde los metabolitos secundarios que confieren inmovilidad de nematodos correspon-

y/o glucanasa y se identificaron genes que activan la resistencia sistémica inducida, que favorecen el control de los patógenos (Martínez-Canto *et al.*, 2021). También se llevó a cabo la identificación taxonómica y molecular (Moo-Koh *et al.*, 2017). De esta forma se han logrado obtener cepas de *Trichoderma*

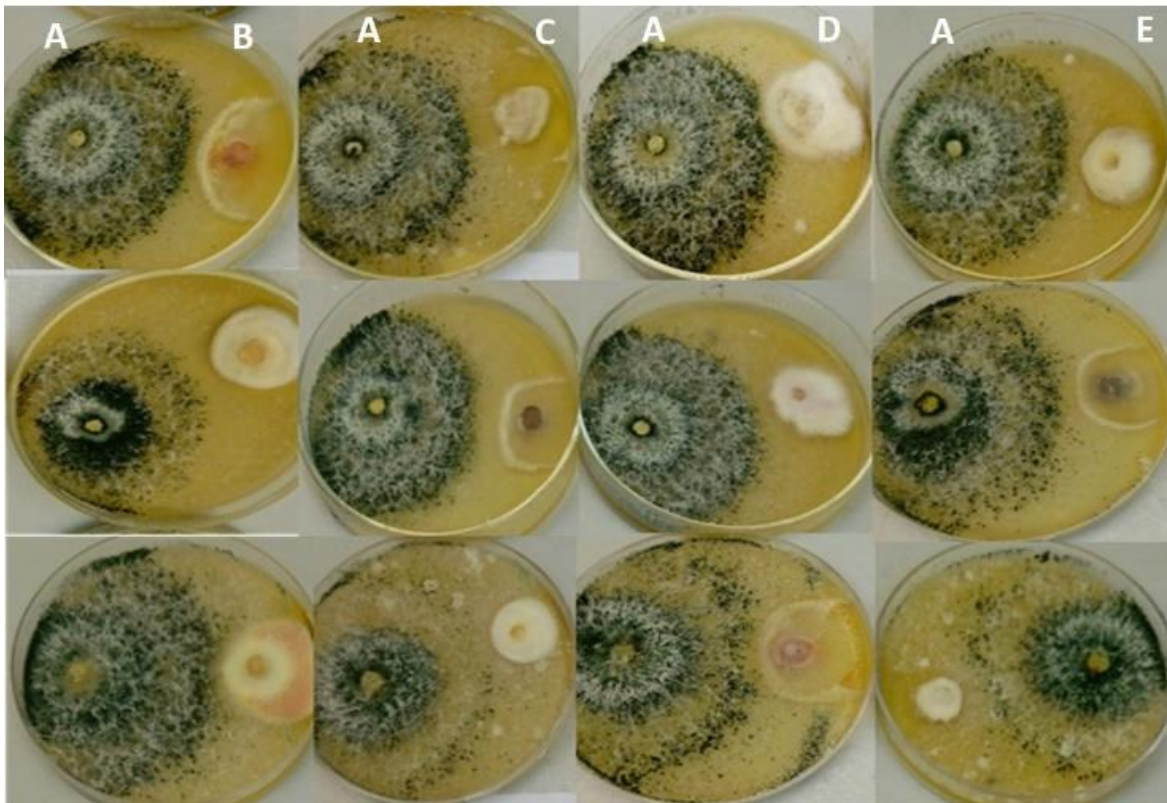


Figura 2. Antagonismo (competencia) *in vitro* de cepas nativas de *Trichoderma* contra *Fusarium spp.* (fitopatógeno). A. Crecimiento de *Trichoderma asperellum* mostrando mayor crecimiento y competencia por espacio contra *Fusarium spp.* B, C, D y E. Hongos fitopatógenos aislados de diferentes cultivos agrícolas (Fotografías, Sandy Esther Celis Perera).

dieron a sesquiterpenos y policétidos (Moo-Koh *et al.*, 2022).

Posteriormente, a las cepas promisorias se les determinó, *in vivo*, el efecto fungicida (Cetz-Chi *et al.*, 2018, Celis-Perera *et al.*, 2021) promotor de crecimiento de plantas de tomate (Moo-Koh *et al.*, 2017) y su capacidad para reducir la severidad de la enfermedad inducida por *Meloidogyne incognita*, en cultivos de chile habanero y chile dulce (Herrera-Parra *et al.*, 2017, Herrera-Parra *et al.*, 2018) (Figuras 3 y 4). En algunas cepas se detectó actividad de quitinasa

con diferente actividad biológica (Cuadro 1).

Con el fin de aprovechar estos recursos microbiológicos de otras zonas de la península de Yucatán e incorporarlos a los sistemas de producción, se han realizado muestreos en cultivos de tomate establecidos en Campeche y en cultivos de piña en Quintana Roo, y se ha iniciado el aislamiento de nuevas cepas de *Trichoderma*. Los trabajos por continuar están enfocados a la búsqueda y evaluación de sustratos, que permitan el escalamiento para la producción de dichas cepas para su evaluación y validación en

cultivos establecidos en campo. El objetivo es que, para un futuro, se tenga una agricultura sustentable con menos químicos sintéticos y en la que microorganismos benéficos y patógenos, interactúen en los

sistemas de producción sin que se perturbe el equilibrio ecológico, y se dependa menos de los agroquímicos sintéticos.



Figura 3. A. Raíces de chile habanero inoculadas con el nematodo agallador *Meloidogyne incognita* y nematicida. B. Raíces de chile habanero inoculadas solo con el nematodo agallador *Meloidogyne incognita*. C, D, E, F. Raíces de chile habanero inoculadas con el nematodo agallador *Meloidogyne incognita* y *Trichoderma spp.* (Fotografías, Elizabeth Herrera Parra).



Figura 4. A. Plantas de chile habanero inoculadas con el nematodo agallador *Meloidogyne incognita* y nematicida. B. Plantas de chile habanero inoculadas solo con el nematodo agallador *Meloidogyne incognita*. C, D, E, F. Plantas de chile habanero inoculadas con el nematodo agallador *Meloidogyne incognita* y *Trichoderma spp.* (Fotografías, Elizabeth Herrera Parra).

Cuadro 1. Especies nativas de *Trichoderma ssp.* aisladas del estado de Yucatán, con potencial biofertilizante y de biocontrol de patógenos de importancia agrícola.

Especie	Promotoras del crecimiento vegetal	Actividad fungicida	Actividad nematocida
<i>T. asperellum</i>	-	+	-
<i>T. atroviridae</i>	+	-	-
<i>T. citreoviride</i>	+	-	+
<i>T. erinaceum</i>	-	+	-
<i>T. ghanense</i>	+	+	+
<i>T. harzianum</i>	+	+	+
<i>T. koningiopsis</i>	+	-	+
<i>T. simmonsii</i>	-	-	+
<i>T. virens</i>	+	+	+

Referencias

- Barnett H. y Hunter B. 1972.** *Illustrated genera of imperfect fungi*. EE. UU. Burgess Publ. Co. 241pp.
- Bhattacharjee R. y Dey U. 2014.** An overview of fungal and bacterial biopesticides to control plant pathogens/diseases. *African Journal of Microbiology Research* 8(17): 1749-1762. <https://doi.org/10.5897/AJMR2013.6356>
- Chávez-Díaz I.F., Zelaya-Molina L.X., Cruz-Cárdenas C.I., Rojas-Anaya E., Ruiz-Ramírez S. y de los Santos-Villalobos S. 2020.** Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11(6): 1423-1436. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>
- Chen D., Hou Q., Jia L. y Sun K. 2021.** Combined use of two *Trichoderma* strains to promote growth of Pakchoi (*Brassica chinensis* L.). *Agronomy* 11: 726. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040726>
- Candelero D.J., Cristóbal-Alejo J., Reyes-Ramírez A., Tun-Suárez J. y Ruiz-Sánchez E. 2015.** *Trichoderma ssp.* promotoras del crecimiento en plántulas de *Capsicum chinense* Jacq. y antagónicas contra *Meloidogyne incognita*. *Phyton* 84: 113-119.
- Celis-Perera S.E., Moo-Koh F.A., Reyes-Ramírez A., Tun-Suárez J. y Cristóbal-Alejo J. 2021.** Antagonismo *in vitro* de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg (Ta13-17) contra hongos patógenos de *Solanum lycopersicum* L. *Revista de Protección Vegetal* 36: 3.
- Cetz-Chi J., Cristóbal-Alejo J., Tun-Suárez J., Peraza-Luna A. y Candelero de la Cruz J. 2018.** Especies nativas de *Trichoderma ssp.* y su actividad antagónica contra *Meloidogyne incognita* en *Solanum lycopersicum* L. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 26(73): 5-12.
- Djonović S., Pozo M.J., Dangott L.J., Howell C.R. y Kenerley C.M. 2006.** Sm1, a proteinaceous elicitor secreted by biocontrol fungus *Trichoderma virens* induces plant defense responses and systemic resistance. *Molecular Plant Interactions* 19(8):838-853.
- Herrera-Parra E., Cristóbal-Alejo J. y Ramos-Zapata J. 2017.** *Trichoderma* strains as growth

promoters in *Capsicum annuum* and as biocotrol agents in *Meloidogyne incognita*. *Chilean Journal of Agricultural Research* 77(4): 318-324.

Herrera-Parra E., Ramos-Zapata J., Cristóbal-Alejo J., Tun-Suárez J. y Reyes-Ramírez A. 2018. Species of *Trichoderma* antagonistic to the root knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in habanero pepper. *Phyton* 87: 7-13.

Martínez-Canto O., Cristóbal-Alejo J., Tun-Suárez J. y Reyes-Ramírez A. 2021. Detección de genes Ep11 y Sm1 en *Trichoderma spp.* antagonista contra fitopatógenos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 8(2): e2791.

Moo-Koh F. A., Cristóbal-Alejo J., Reyes-Ramírez A., Tun Suárez J. y Gamboa-Angulo M. 2017. Identificación molecular de aislados de *Trichoderma spp.* y su actividad promotora en *Solanum lycopersicum* L. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* 25(71): 5-11.

Moo-Koh F.A., Cristóbal-Alejo J., Andrés M.F., Martín J., Reyes F. y Gamboa-Angulo M. 2022. *In Vitro* assessment of organic and residual fractions of nematicidal culture filtrates from thirteen tropical *Trichoderma* strains and metabolic profiles of most-active. *Journal of Fungi* 8: 82.

Ortuño N., Miranda C. y Claros M. 2013. Selección de cepas de *Trichoderma spp.* generadoras de metabolitos secundarios de interés para su uso como productoras de crecimiento en plantas cultivadas. *Journal of the Selva Andina Biosphere* 1(1):16-32.

Pocurull M., Fullana A.M., Ferro M., Valero P., Escudero N. y Sorribas F.J. 2020. Commercial formulations of *Trichoderma* induce systemic plant resistance to *Meloidogyne incognita* in tomato and the effect is additive to that of the Mi-1.2 resistance gene. *Frontiers in Microbiology* 10:3042.

Rendón-von O.J. y Dzul-Caamal R. 2017. Glyphosate residual in groundwater, drinking water and urine of subsistence farmers from intensive agriculture localities: a survey in Holpechén, Campeche, Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14: 595-607.

Reyes-Ramírez A., Cristóbal-Alejo J., Ruiz-Sánchez E. y Tun Suárez J.M. 2012. Inhibición del crecimiento in vitro de *Fusarium sp.* aislado de chile habanero (*Capsicum chinense*) con hongos antagonistas. *Fitosanidad* 16(3): 161-165.

Yedidia I., Srivastva A.K., Kapulnik Y. y Chet, I. 2001. Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. *Plant and Soil* 235: 235-242.

Zhang S., Gan Y. y Xiu B. 2015. Biocontrol potential of a native species of *Trichoderma longibrachiatum* against *Meloidogyne incognita*. *Applied Soil Ecology* 94: 21-29.

Zin N.A. y Badaluddin N.A. 2020. Biological functions of *Trichoderma spp.* for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences* 65: 168-178.

Desde el Herbario CICY, 15: 27–32 (09-febrero-2023), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 232, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Ivón M. Ramírez Morillo, Diego Angulo y Néstor E. Raigoza Flores. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 09 de febrero de 2023. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.