

Hongos micorrícicos arbusculares como control biológico del nematodo agallador (*Meloidogyne* spp.) en hortalizas de Yucatán

Jairo Cristóbal-Alejo¹, José Alberto Ramos-Zapata², Carolina Basto-Pool³,
Elizabeth Herrera-Parra^{3*}

Introducción

El control biológico implica el uso de organismos, o de sus subproductos, para disminuir las poblaciones de otros organismos, como son insectos, ácaros, hongos y nematodos, en situaciones donde éstos últimos ocasionan daños y enfermedades en los cultivos agrícolas. Entre los agentes de control biológico figuran los hongos micorrícicos arbusculares (HMAs), que son considerados organismos rizosféricos y capaces de colonizar las raíces de al menos 80% de las especies vegetales terrestres, y cuya interacción con éstas son de tipo mutualista (Smith y Read 2008).

Los HMAs elaboran una amplia red de hifas extra radicales que favorecen la translocación de agua y nutrimentos, poco móviles del suelo, como son el fósforo, cobre, potasio, amonio y zinc, para la nutrición de la planta. Los HMAs toman de la planta compuestos carbonados, en forma de hexosa (fructosa y glucosa), que se convierten en lípidos (triacilglicerol y carbohidratos) (Balestrini y Bofante 2014, Pozo *et al.* 2015). La aplicación de HMAs en plantas reduce significativamente la infestación por nematodos, endoparásitos sedentarios como *Meloidogyne* spp, por competencia directa por sitios, espacios y nutrientes. Además, los HMAs modifican la composición de exudados radicales, la morfología de la raíz o la activación de mecanismos de defensa de las plantas colonizadas (Pozo *et al.* 2015, Schouteden *et al.* 2015).

El nematodo agallador, *Meloidogyne* spp., afecta la producción de especies hortícolas en Yucatán, como son la calabaza (*Cucumis pepo*), pepino (*Cucumis sativus*), sandía (*Citrillus vulgare*), papaya (*Carica papaya*) tomate (*Solanum lycopersicum*) y chiles los cuales son altamente susceptibles a este nematodo (Herrera *et al.* 2011). Los cultivos afectados manifiestan en las raíces la formación de agallas, que aparecen como exhibiciones externas, que se presentan desde el momento de la penetración del nematodo ocasionando clorosis, enanismo, proliferación de raíces, reducción en el tamaño de frutos, marchitamientos en las horas de mayor calor o insolación (Coyne *et al.* 2007). El objetivo del presente trabajo es describir los avances relacionados con el uso de HMAs como agentes de control biológico contra el nematodo agallador, *Meloidogyne* spp., en las principales especies hortícolas de Yucatán.

Importancia económica del nematodo agallador *Meloidogyne* spp., en hortalizas

A nivel mundial, las pérdidas anuales de producción ocasionadas por nematodos en los cultivos llegan a 14 %, lo que equivale a 173 millones de dólares (Elling 2013). En México, existe poca información sobre pérdidas de producción inducidas por fitonematodos. Sin embargo, en el valle agrícola de Tepeaca, Puebla, en condiciones protegidas se estimaron pérdidas del 100 % de la producción, con densidades de población de 32 huevos g⁻¹ del nematodo *Meloidogyne javanica* en zanahoria (*Daucus carota*) (Medina-Canales *et al.* 2012). Con los nematodos *M. incognita*, *M. hapla* y *M. chitwoodi*, las pérdidas cualitativas de productos hortícolas, como zanahoria, papa (*Solanum tuberosum*), betabel (*Beta vulgaris*) son cuantiosas, ya que *Meloidogyne* spp. deforma y mancha los tubérculos por lo que éstos pierden su valor comercial (Tovar 2014, Ramírez 2014).

En Yucatán, se registró por vez primera al nematodo *M. incognita* en cultivos de tomate y chile habanero y chile dulce en Conkal y Muna, respectivamente (Canul 2005). Reportes recientes indican la distribución y plantas hospedantes de *Meloidogyne* spp. en 21 localidades dentro de las principales zonas hortícolas de Yucatán, con *M. incognita* en el 100 % de las especies hortícolas siguientes: melón (*Cucumis melo*), pepino (*Cucumis sativus*), calabaza (*Cucumis pepo*), sandía (*Citrillus vulgare*) chile (*C. annuum*). En tomate (*S. lycopersicum*), chile habanero (*C. chinense*), frijol (*P. vulgaris*), chile Xkat'ic y dulce (*C.*

annuum) se ubicaron poblaciones mezcladas de los nematodos *M. arenaria* y *M. incognita* (Herrera-Parra *et al.* 2011).

En Yucatán, existen 9 hospederos de *Meloidogyne* spp., de los cuales 90 % son cultivos de interés agrícola. Esto constituye un riesgo potencial ya que las plantas infectadas son fuente de inóculo permanente para varias especies hortícolas. Además, la falta de buenas prácticas agrícolas y al creciente aumento en la temperatura (37-40°C) reportadas en los últimos años son factores que favorecen la reducción del ciclo biológico del nematodo, lo que incrementan su población y los daños en los cultivos.

Síntomas en hortalizas afectadas por el nematodo *Meloidogyne* spp.

Los daños en especies hortícolas por *Meloidogyne* spp. inician desde el momento de la penetración de la raíz por la fase juvenil de segundo estadio (J_2). El nematodo se alimenta con su estilete de células gigantes nutridoras que se forman durante esta interacción y que se mantienen con la participación de glándulas esofágicas. El parasitismo de estos fitopatógenos aumenta la producción de proteínas en las agallas y provocan un mal funcionamiento de los reguladores de crecimiento en las raíces y base del tallo dando origen a dos alteraciones celulares, como son la hipertrofia e hiperplasia que en su conjunto originan las agallas. Esto provoca alteraciones en la continuidad del tejido vascular y contribuye a la reducción del crecimiento y desarrollo de las plantas (Medina-Canales *et al.* 2011).

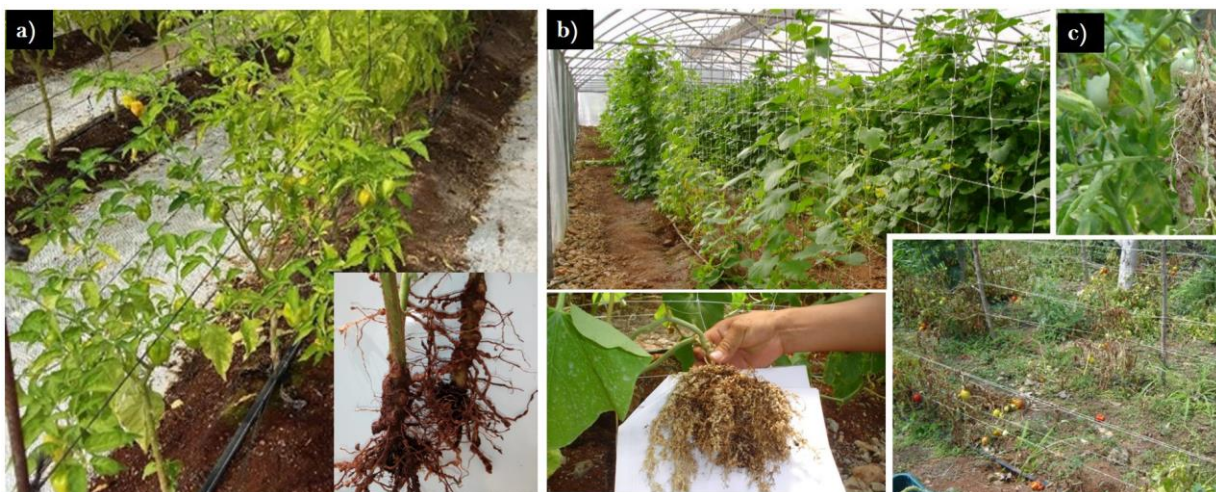


Figura 1. Cultivos hortícolas parasitados por el nematodo agallador *Meloidogyne* spp., a) chile habanero, b) melón y c) tomate.

Implementación de HMAs como agentes de control biológico de *Meloidogyne* spp en Yucatán

En México, el uso de HMAs como alternativa para el control de patógenos de raíz en cultivos hortícolas es un área de estudio poco explorada. Entre los principales factores que se consideran al momento de la evaluación, se encuentran el efecto de los HMAs en los nematodos para disminuir su capacidad reproductiva, como la estimación de reducción de huevos, hembras por parte del nematodo y la severidad del daño que induce en las raíces, donde se considera el número de agallas y la disposición de estas en la raíz, así como su capacidad de promover el crecimiento de los cultivos considerando esta carga parasitaria.

Los trabajos en Yucatán contemplan los siguientes reportes. En plantas de tomate (*S. esculentum*) cv. Maya, parasitadas por *M. incognita*, se obtuvieron 1,303 huevos por gramo de raíz, y aquellas donde se inocularon con el HMA *Glomus intraradices* sólo se presentaron 525 huevos por gramo de raíz. Esto implica la reducción de hasta un 40% de capacidad reproductiva del nematodo y una reducción de un 39% de agallas en las raíces (Cristóbal-Alejo *et al.* 2010). Asimismo, se han evaluado consorcios de HMAs nativos, obtenidos de selva baja caducifolia del Yucatán para aprovechar sus beneficios como promotores de crecimiento y control de patógenos. Tal es el caso del consorcio integrado por *Funneliformis geosporum*, *Claroideoglossum claroideum* y *Glomus ambisporum*, evaluado en chile habanero cv. Calakmul, que disminuyó la severidad del daño en raíces, inducidos por *M. incognita*, en un 47.68 %, y el número de huevos en un 40.35 %. Con relación al tratamiento nematicida oxamil 24%, se tuvo la misma capacidad para disminuir el número de hembras hasta en un 32.72%, lo que se reflejó en una producción de frutos de hasta 132 g a los 166 días posteriores a la siembra (Herrera-Parra *et al.* 2020a).

En chile dulce, la inoculación de *Funneliformis geosporum*, *Claroideoglossum claroideum* y *Glomus ambisporum*, con la incorporación de un 50 % de fertilización química, promovieron un crecimiento significativo de plántulas que se reflejó en plantas con mayor altura (20.50 %), biomasa aérea seca (30.43 %) y peso fresco de raíz (24.7 %) con relación a la fertilización química al 100 %. Después, estas plántulas fueron inoculadas con *M. incognita* y evaluadas a los 50 días posteriores a la inoculación del nematodo. Los resultados mostraron que *F. geosporum* y *G. ambisporum* redujeron la severidad del daño en raíces en un 79.65 %, en relación a las plantas sin inoculación de HMAs. Particularmente,

el efecto del nematicida químico para reducir la reproducción del nematodo fue igual al obtenido con *F. geosporum* y *G. ambisporum* con reducciones de producción de huevos en 89 % y de formación de hembras de 69.73 % (Herrera-Parra *et al.* 2021).

Con otros nematodos endoparásitos, como *Rotylenchulus reniformis*, inoculado en *Carica papaya* cv. Maradol y los HMAs *Rizophagus intraradices*-INIFAP, *F. mosseae*-C23 y *R. intraradices*-C28, se favoreció el crecimiento de la raíz y se redujo el número de huevos por gramo de raíz en 52, 67 y 50%, respectivamente (Herrera-Parra *et al.* 2014). Otro estudio ha explorado aprovechar los efectos benéficos que los HMAs confieren a varias especies frutales como guanábana (*Annona muricata*), donde se reportó que el consorcio de *A. gerdemaniai*, *C. claroideum*, *F. geosporum* y *G. pustulatum*, favorecieron el crecimiento de plántulas de guanábana logrando diámetros de tallo (6.75 mm), ideales para su injertación, en menor tiempo que las que no fueron inoculadas (Herrera-Parra *et al.* 2020b), y las plantas inoculadas manifestaron mejor calidad fitosanitaria.

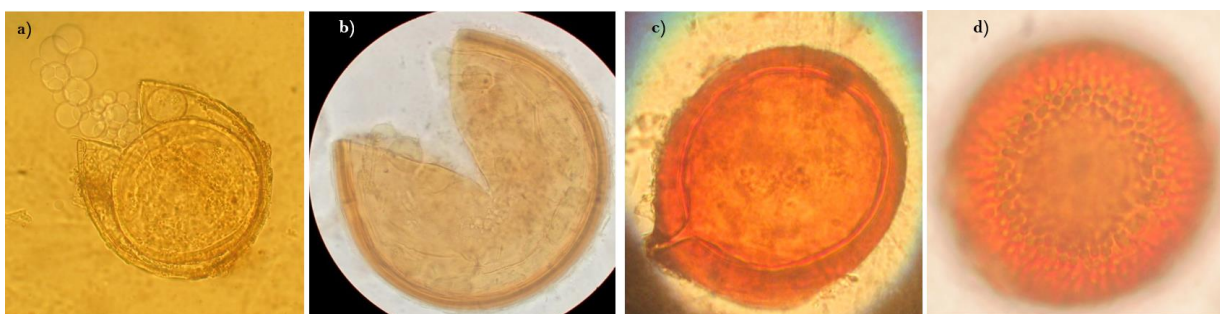


Figura 2. Esporas de HMAs a) *Ambispora gerdemaniai*, b) *Claroideoglossum claroideum* c) *Funneliformis geosporum*, d) *Glomus pustulatum* evaluados como agentes de control biológico contra *Meloidogyne* spp., en chile habanero, chile dulce, tomate, papaya y promotores de crecimiento en producción de plántula de estas especies hortícolas y guanábana en Yucatán.

Conclusiones

El uso de HMAs como agentes de control biológico de patógenos de raíz en especies hortícolas es un tema poco explorado para Yucatán. Los trabajos se han orientado hacia la evaluación de HMAs nativos que han mostrado ser agentes efectivos de control biológico en contra del nematodo *Meloidogyne* spp., incluso con efectos de control similares a los inducidos por nematicidas químicos, y promotores de crecimiento de plántulas en especies hortícolas de importancia para Yucatán.

¹Tecnológico Nacional de México/Campus Conkal, Yucatán.

²Departamento de Ecología Tropical. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Mocochá.

Autor para correspondencia: elian.herrera09@gmail.com*

Cristóbal-Alejo J, Ramos-Zapata JA, Basto-Pool C, Herrera-Parra E. 2021. Hongos micorrízicos arbusculares como control biológico del nematodo agallador (*Meloidogyne* spp.) en hortalizas de Yucatán. *Bioagrociencias* 14(1): 11-17.

Referencias

- Balestrini R, y Bonfante P. 2014. Cell wall remodeling in micorrhizal symbiosis: a way towards biotrophism. *Frontiers in Plant Science*. 5: 1-10.
- Canul PGC. 2005. Diagnóstico de enfermedades en plantas ornamentales del estado de Yucatán. Tesis de Licenciatura en Biología. Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán. Pp. 34-45.
- Coyne DL, Nicol JM, and Cole CB. 2007. Practical plant nematology: a field and laboratory guide. SP-IPM Secretariat, International Institute of Tropical Agriculture (IITA). Cotonou, Benin. Pp. 1-82.
- Cristóbal-Alejo J, Herrera-Parra E, Reyes-Oregel V, Ruiz-Sánchez E, Tun-Suárez JM, Celis-Rodríguez T. 2010. *Glomus intraradices* para el control de *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood en condiciones protegidas. *Fitosanidad*. 14 (1): 25-29.
- Elling AA. 2013. Major emerging problems with minor *Meloidogyne* species. *Phytopathology*. 103: 1092-1102.
- Herrera-Parra E, Cristóbal-Alejo J, Tun-Suárez JM, Góngora-Jiménez JA, y Lomas-Barrié TC. 2011. Nematofauna nociva (*Meloidogyne* spp.) en cultivos hortícolas tropicales: distribución y perspectivas de manejo en Yucatán. En: Recursos genéticos microbianos de la zona golfó sur-sureste de México. SUBNARGEN. Edit. Morevalladolid S de R. L. de C. V. Pp. 125-136.
- Herrera-Parra E, Lozano-Contreras MG, Santamaría-Basulto F, Cristóbal-Alejo J, Cabrera-Hidalgo, AJ, y Marbán-Mendoza N. 2014. Inoculantes micorrízicos para el control de *Rotylenchulus reniformis* (Tylenchida: Hoplolaimidae) en *Carica papaya* cv. Maradol. *Nematropica*. 44: 218-227.
- Herrera-Parra E, Cristóbal-Alejo J, Ramos-Zapata J, Estébanez-Reyes M, Rosado-Lugo R. 2020a. Consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares y *Trichoderma* spp. en el control de *Meloidogyne incognita*. XXXII Semana Internacional de Agronomía. Venecia, Gómez Palacio, Durango. Pp:1176-1185.

- Herrera-Parra E, Cristóbal-Alejo J, Lima-Burgos A, Pinzón-López L, Tun-Suárez J. 2020b. Respuesta de portainjertos de guanábana (*Annona muricata* L.) inoculados con consorcios de hongos micorrizícos arbusculares. XXXII Semana Internacional de Agronomía. Venecia, Gómez Palacio, Durango. Pp:1308-1315.
- Herrera-Parra E, Ramos-Zapata J, Basto-Pool C, Cristóbal-Alejo J. 2021. Sweet pepper (*Capsicum annuum*) response to the inoculation of native arbuscular mycorrhizal fungi and the parasitism of root-knot *Meloidogyne incognita*. Revista BioCiencias 8 e982. <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e982>
- Medina-Canales MaG, Carvajal-Sandoval A, Alejandre-Aguilar A, Tovar-Soto A. 2011. Alteraciones histológicas inducidas por *Meloidogyne hapla* y *M. arenaria* en zanahoria (*Daucus carota* L.) en el Valle de Tepeaca, Puebla, México. Nematropica. 41: 223-228.
- Medina-Canales MaG., Ramírez-San JE, Torres CR, y Tovar-Soto SA. 2012. Pathogenicity of *Meloidogyne arenaria* against two varieties of carrot (*Daucus carota* L.) in Mexico. Nematropica. 42: 337-342
- Pozo JM, López-Ráez JA, Azcon-Agular C, García-Garrido J. 2015. Phytohormones of environmental signals in the regulation of micorrhizal symbioses. New Phytologist. Pp. 1-6.
- Ramírez SA. 2014. Especies cuarentenadas de nematodos fitoparásitos para México. Revista Mexicana de Fitopatología. 32: 39-40.
- Schouteden N, De Waele D, Panis B, Vos CM. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi for the biocontrol of plant-parasitic nematodes: A review of the mechanisms involved. Frontiers in Microbiology. 6: 1-12.
- Smith SE, and Read DJ. 2008. Mycorrhizal Symbiosis, Ed 3. Academic Press, New York, London, Burlington, San Diego.
- Tovar SA. 2014. Géneros y especies de importancia en la agricultura en México. Revista Mexicana de Fitopatología. 32: 34-35.