

Manejo biológico de nematodos fitoparásitos con hongos y bacterias

Fecha de recepción: 09/10/2007

Fecha de aceptación: 10/10/2007

Ricardo Piedra Naranjo¹

La agricultura actual demanda la reducción de plaguicidas químicos y la introducción de sistemas sostenibles con el uso de agentes de manejo biológico. La alternativa de usar hongos y bacterias para el manejo de nematodos fitoparásitos puede ser una opción biológica muy importante de actualidad.

Palabras clave

Manejo biológico, nematocidas biológicos, microorganismos benéficos.

Keys words

Globodera pallida stone, chemical nematocidas, pests an disease, management integrated, biological alternative. nematodos fitoparasitos.

Resumen

La agricultura actual demanda la reducción de plaguicidas químicos y la introducción de sistemas sostenibles con el uso de agentes de manejo biológico. La alternativa de usar hongos y bacterias para el manejo de nematodos fitoparásitos puede ser una opción biológica muy importante de actualidad. El manejo biológico de nematodos fitoparásitos es posible si se logra fomentar e investigar la utilización de hongos y bacterias que pueden estar en el suelo o, de lo contrario, reproducirse en laboratorios para uso

*comercial. En revisión de literatura se encontró varios organismos (hongos y bacterias) que pueden ser utilizados por agricultores, y en algunos casos, ya están siendo aplicados. Entre los organismos encontrados, tenemos las bacterias *Pasteuria penetrans*, *Pseudomonas* (*Burkholderia*) *cepacia* tipo *Wisconsin*. Algunos hongos como: *Verticillium chlamydosporium*, *Arthrobotrys* y *Monacrosporium*, *Catenaria* spp, *Drechmeria coniospora*, *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus* spp. *Fusarium solani*, *Cylindrocarpon cylindroides* y *Paecilomyces lilacinus*, *Verticillium lecanii*, *Arthrobotrys conoides*, *A. musiformis*, *A. robusta*, *Monoacrosporium ellipsosporum*, *Dactylaria thaumasia*, *Cylindrocarpon* sp., *Trichoderma harzianum*, *Dactylella brochophaga*, *Arthrobotrys oligospora* y *Arthrobotrys botryospora* y *Myrothecium verrucaria*. Con este tipo de información, planteada desde el punto de vista en investigaciones agropecuarias, se podría tener posibilidades de utilizar nematocidas biológicos en el manejo de nematodos fitoparásitos, desarrollando un manejo*

1. Estudiante Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE), Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), Universidad Nacional Costa Rica (UNA), Universidad Estatal a Distancia, (UNED), Universidad de Chapingo, México, Universidad León Nicaragua. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Costa Rica. Tel. 231-5055. Apto. 10094. Correo electrónico: INTA.ripina2@gmail.com

integrado de plagas, donde se tendría la posibilidad de no usar de nematicidas químicos en un futuro, o por lo menos reducir sustancialmente su uso en nuestra agricultura y así mejorar la relación con el medio ambiente y el ser humano.

Abstract

Today's agriculture demands a reduction of chemical pesticides and the introduction of reliable systems with the use of agents of biological handling. The alternative of using fungi and bacteria for the handling of "fitoparasitos" can be a very important biological alternative. Biological handling of nematodos fitoparasitos is possible if it is managed to promote and investigate the use of fungi and bacteria that can be found on soil tbn se puede poner en lo que esta en parentesis (in the ground) or otherwise reproduce them in laboratory with the purpose of commercial use. Many sources as books, mention some organisms (fungi and bacteria) that can be use by farmers. These organisms are being use for the control of nematodos fitoparasitos. Some of the found organisms are: bacteria, Pasteuria penetrans,y Pseudomonas cepacia tipo wisconsin. Fungi are: Verticillium chlamydosporium. Arthrobotrys y Monacrosporium, Catenaria spp, Drechmeria coniospora, Pleurotus ostreatus, Pleurotus spp. Fusarium solani, Cylindrocarpon cylindroides y Paecilomyces lilacinus, Verticillium lecanii, Arthrobotrys conoides, A. musiformis, A. robusta, Monoacrosporium elliposporum, Dactylaria thaumasia, Cylindrocarpon sp., Trichoderma harzianum, Dactylella brochophaga, Arthrobotrys oligospora y Arthrobotrys botryospora y Myrothecium verrucaria. This type of information form agriculture investigacions point of we view, we could have chances of using biological nematicidas for handling of nematodos fitoparasito, developing and integrated plagues handling. Where in

the future we could have the possibility of not using chemical nematicidas , or at least reduce substantially its use in our agriculture and thus start and contribute the relacion between human being and environment.

Introducción

En la actualidad, uno de los grandes problemas que presenta la agricultura sostenible es el uso del bromuro de metilo, el cual es un agroquímico que desde la década de los 70 se ha venido usando en la agricultura principalmente para desinfectar suelos y cultivos (granos, frutas, etc. para el control de plagas del suelo, sobre todo hongos y nematodos fitoparásitos. Sin embargo, durante su aplicación, una parte importante se libera a la atmósfera, lo que disminuye la concentración de ozono y contribuye también a incrementar el efecto de invernadero en nuestro planeta (www.nobromuro.org).

Como otro de los grandes retos importantes que enfrenta la agricultura actual, además de buscar alternativas al bromuro de metilo, se plantea también la necesidad de disminuir el uso de insecticidas, nematicidas, fungicidas químicos. El interés es múltiple; por un lado, reducir el riesgo de que haya residuos en los alimentos, máxime cuando se consumen en fresco, como en el caso de numerosos productos hortícolas. Por otro, aumentar la seguridad laboral del agricultor y, finalmente, preservar el medio ambiente, mediante programas que respondan a una agricultura de manejo sostenible, que responda a la creciente preocupación de nuestra sociedad. Una de las alternativas que existen para reducir la utilización de insecticidas, nematicidas, fungicidas y desinfectantes como el bromuro de Metilo es el uso del manejo biológico de plagas; es decir, la utilización de organismos vivos para combatir las plagas que afectan a los cultivos. El manejo biológico

es un componente esencial, tanto en el control integrado de plagas, como en la agricultura ecológica sostenible (attra.ncat.org/espanol/manejo.html).

En el pasado se utilizó para el combate de estos microorganismos productos tales como: el DBCP (Nemagon), el cual fue prohibido en la década de 1980 por sus efectos negativos en la salud de los trabajadores. En la actualidad, los más utilizados son nematicidas no fumigantes que pertenecen a dos grupos químicos: carbamatos y organofosforados (Arauz, 1998, p. 467).

Es precisamente que surge como necesario dentro del concepto de agricultura sostenible fomentar un tema de gran importancia, como lo es la sustitución de nematicidas químicos por nematicidas biológicos, utilizando hongos y bacterias dentro de un programa de manejo integrado de cultivos agrícolas.

Concepto de nematodos y controladores biológicos

Los nematodos son los organismos pluricelulares más numerosos en los agroecosistemas; se conocen unas 20 000 especies y se pueden encontrar en densidades de hasta 30 millones por metro cuadrado. Se encuentran como organismos de vida libre y se alimentan de hongos, bacterias, protozoarios u otros nematodos, o como parásitos de plantas y animales; además, forman parte importante de las cadenas tróficas del suelo (Rodríguez, 1998, p. 192). Por otra parte, los conocimientos sobre organismos antagonicos de nematodos fitoparásitos son casi tan viejos como los que se tienen sobre la importancia económica de estos en la producción agrícola; es decir, los nematodos fitoparásitos tienen “enemigos” muy eficaces que limitan sus niveles poblacionales, además, se tiene el conocimiento de la existencia de una microflora y microfauna en el

suelo cuyas especies son antagonistas o reguladoras de las actividades de los fitonematodos. A escala mundial, existe una gran abundancia de antecedentes que permiten aseverar que los nematodos son atacados por numerosos y variados organismos del suelo, pero la acción de ellos aún es poco conocida (Jiménez, 1979, p. 49). Según Arauz, (1998, pp. 467-468). Los agentes biocontroladores como los organismos que interactúan con los nematodos fitoparásitos en el suelo deben tener algunas características básicas: No deben ser patógenos de plantas, hombres o animales, capaz de reducir o suprimir eficientemente las poblaciones de nematodos por debajo del nivel crítico, capacidad de adaptación a diferentes ambientes del suelo (textura, grado de humedad, composición química y materia orgánica), buena habilidad competitiva, alto potencial de reproducción para obtener una población alta, capacidad de sobrevivir en épocas difíciles; por ejemplo, *Verticillium chlamydosporium* tiene clamidosporas y puede sobrevivir a condiciones adversas del ambiente, capacidad de producir antibióticos u otros compuestos que inhiben nematodos u otros organismos para mejorar su oportunidad de supervivencia, habilidad para afectar a más de una especie de nematodos, dispersión efectiva en el suelo, capacidad para reproducirse in vitro en grandes cantidades a nivel comercial y de fácil aplicación, resistencia a la fertilización y a algunos plaguicidas; el producto biológico debe aumentar la producción con respecto al testigo sin aplicar.

A los agentes biocontroladores formulados para su uso comercial se les ha denominado plaguicidas microbiales o bioplaguicidas, con las respectivas categorías, como bioinsecticida, biofungicida, bioherbicida y bionematicida. Conforme se conoce más de la ecología de los microorganismos con potencial para el combate biológico y sus relaciones con los patógenos y las plantas, el desarrollo comercial del combate

A los agentes biocontroladores formulados para su uso comercial se les ha denominado plaguicidas microbiales o bioplaguicidas, con las respectivas categorías, como bioinsecticida, biofungicida, bioherbicida y bionematicida.

biológico se incrementa aceleradamente (Arauz, 1998, p. 467).

De acuerdo con Arauz (1998, pp. 467-468), el concepto de combate biológico es definido como el combate de enfermedades mediante el uso de organismos; el uso de sustancias naturales caen dentro de la categoría o clasificación de combate químico. Esta revisión de literatura “combina” ambos conceptos dentro del uso de los nematocidas biológicos; asimismo, se hace mención de algunas experiencias a escala mundial con sustancias naturales y microorganismos en el combate de los nematodos fitoparásitos.

Algunas experiencias con hongos y bacterias en el control de nematodos fitoparásitos

Bacterias

Chen y Dickson (1998, pp. 313-340) efectuaron una revisión exhaustiva sobre la biología, ecología y potencial del control biológico de *Pasteuria penetrans*. Considerables progresos se han obtenido en los últimos 10 años para comprender la biología y la importancia de este organismo, el cual es capaz de suprimir a nematodos formadores de agallas. *Pasteuria* spp. está distribuídas a escala mundial y ha sido reportada en 323 especies de nematodos. El cultivo artificial ha tenido un éxito limitado; la producción en gran escala de endosporas depende del cultivo in vivo. La temperatura afecta la adhesión de la endospora, la germinación, la patogénesis y la conclusión del ciclo de vida en el pseudocolon del nematodo. El potencial de *Pasteuria* spp. ha sido demostrado en 20 cultivos. Dentro de los nematodos que atacan se encuentran *Belonolaimus longicaudatus*, *Heterodera* spp., *Meloidogyne* spp. y *Xiphinema diversicaudatum*. *Pasteuria penetrans* desempeña un papel importante en los suelos supresivos. Aproximadamente.

10 000 endosporas / gramo de suelo proveen un control inmediato contra el nematodo agallador del maní.

Por otra parte, en Perú, Ciancio y colaboradores (1998, pp. 706-710) lograron aislar al género *Pasteuria* asociado con el nematodo *Hoplolaimus galeatus*. Se encontraron progámulos adheridos tanto en adultos como en juveniles y también endosporas que llenan los cuerpos de machos y hembras. La endospora y el punto central de la endospora tuvo un diámetro de 4,5 +/- 0,4 μm y 1,9 +/- 0,2 μm respectivamente, lo cual difiere con otros aislamientos reportados en Norte América sobre el mismo nematodo. Lo anterior demuestra que en años algunas varias variantes de *Pasteuria* han sido descubiertas. La biodiversidad a nivel fenotípico sugiere un complejo proceso entre el hospedero y la coevolución y especiación del parásito.

- *Ciclo de vida Pasteuria* sp.: Produce endospora y se fija sobre la cutícula del nematodo. Cuando el nematodo entra en la raíz que infecta, las esporas van adheridas. La bacteria germina en el interior del nematodo hembra, y se transforma, más tarde, en una bolsa de esporas. En consecuencia, la hembra no puede reproducirse y muere al reventar bajo la presión de las esporas que se liberan nuevamente al suelo y se reinicia el ciclo. Así se confirma la presencia de un agente biológico parásito natural de *Meloidogyne* sp. en suelos de Corrientes. Tiene una eficacia parasitaria remarcable que permite reducir hasta 80% una población y puede permanecer mucho tiempo en el suelo según la información recabada.

El registro (MAG, 1999, N.º 4272) informa del producto que contiene la bacteria *Pseudomonas cepacia* tipo Wisconsin; hoy se llama *Bulkclorderia cepacia*, identificada como colonizadoras de las raíces y rizosferas de maíz; sin

embargo, otras pruebas indican que este biotipo puede colonizar raíces de plantas de muchos cultivos. La bacteria produce antibióticos, los cuales son efectivos contra un diverso rango de hongos patógenos de las plantas. Cuando se aplica a semillas, la bacteria coloniza el sistema de raíces en desarrollo y por la producción de antibióticos protege las semillas de hongos y nematodos patógenos de la planta. No es considerada patógeno de humanos o animales.

Hongos nematófagos

Los hongos nematófagos son microorganismos con la capacidad de atacar, matar y digerir nematodos (adultos, juveniles y huevos). Aparte de su habilidad nematófaga, muchos de estos hongos pueden también vivir saprofiticamente en materia orgánica muerta, atacar a otros hongos (micoparásitos) y colonizar raíces de plantas como endófitos. Hay más de 300 especies de hongos nematófagos descritos, encontrados por todo el mundo, incluyendo las regiones polares. Los hongos son habitantes del suelo; generalmente son más frecuentes en suelos con elevado contenido en materia orgánica. La mayoría de los nematodos fitopatógenos vive en el suelo y ataca a las raíces de plantas. La posibilidad de usar hongos nematófagos para el control biológico de nematodos fitopatógenos está siendo por tanto investigada (Barron, 2005, p. 27).

¿Cómo atacan los hongos nematófagos a los nematodos?

Según Barron, G. L. (2005, p. 30-34) los hongos nematófagos se dividen en cuatro grupos, dependiendo de su modo de infectar nematodos fitoparásitos. El resultado de la infección es siempre el mismo: un nematodo completamente digerido. Los nutrientes provenientes de los nematodos son utilizados para formar nuevas estructuras fúngicas (hifas, esporas, etc.).

Los cuatro grupos son los siguientes:
Hongos atrapadores de nematodos: Estos hongos forman varios tipos de órganos atrapadores en sus hifas. Son medios o buenos saprotrofos, y en muchos casos la formación de las trampas debe ser inducida por los propios nematodos. Hay dos mecanismos diferentes en la función de las trampas: adhesivos y mecánicos. Sea cual sea el mecanismo, el hongo penetra la cutícula del nematodo por la trampa y forma el bulbo de infección dentro del nematodo, a partir del cual las hifas tróficas crecen dentro del cuerpo y digieren sus contenidos. Géneros comunes de hongos atrapadores de nematodos son *Arthrobotrys* y *Monacrosporium*. En las siguientes figuras se muestran como actúan estos hongos.
Hongos endoparásitos: Los endoparásitos utilizan sus esporas para infectar nematodos. Estos hongos son a menudo parásitos obligados de nematodos, y fuera del cuerpo infectado del nematodo 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 penetrando la cutícula, conidios adhesivos (por ejemplo en *Drechmeria coniospora*) o conidios que son ingeridos (*Harposporium* spp.) por los nematodos bacteriófagos. Algunos ejemplos son los: **Hongos productores de toxinas:** el hongo más común de este grupo es el descomponedor de madera *Pleurotus ostreatus* (seta yesquera) y otros *Pleurotus* spp. Las hifas de estos hongos, unos “tallos” cortos que contienen una gota de toxina, tras ponerse en contacto con la toxina, el nematodo es rápidamente inmovilizado y las hifas del hongo crecen quimiotrópicamente (dirigidas) a través de la boca del nematodo, que como en el caso de los anteriores hongos nematófagos, es digerido. Otros resultados más recientes: Recientemente, los estudios sobre control biológico se han ampliado al nematodo de los cítricos, *Tylenchulus semipenetrans*.

Una prospección realizada en la zona citrícola de Cataluña, para determinar los enemigos naturales asociados a *T. semipenetrans* ha puesto de manifiesto la presencia de hongos parásitos de hembras, huevos o larvas del nematodo en el 69% de estas; hongos depredadores formadores de trampas en el 29% de las parcelas, y *Pasteuria* en el 50% de las parcelas. Las especies fúngicas encontradas más frecuentemente como parásitas de huevos han sido *Fusarium solani*, *Cylindrocarpon cylindroides* y *Paecilomyces lilacinus*. Esta especie es la más frecuente y abundante en cítricos y el único enemigo natural de nematodos que se produce comercialmente. En la actualidad, se investiga el potencial de estos hongos parásitos de huevos como agentes de control biológico de *T. semipenetrans*, así como el efecto antagonista de los metabolitos secundarios que producen. Se ha desarrollado un modelo que predice el máximo nivel de parasitismo que podría alcanzarse en las parcelas infestadas por *T. semipenetrans* en la zona citrícola de Cataluña, el cual predice que este es 45% y sucede cuando los niveles de hembras son máximos y los niveles de huevos son mínimos. Esta situación tiene lugar en primavera y verano en la zona estudiada. La proporción de huevos parasitados estaba directamente relacionada con el número de hembras/gramo de raíz y con el contenido en magnesio del suelo e inversamente relacionada con el número de huevos/gramo raíz y el contenido en fósforo y arena del suelo. Estos resultados sugieren la posibilidad de favorecer la actividad de los enemigos naturales de *T. Semipenetrans*, mediante la manipulación de los factores ambientales y de esta forma potenciar el control biológico. (www.agroinformacion.com/leer-articulo.aspx?not=410-14k).

En otros estudios, Kim y Riggs (1998, pp. 201-205) y aislaron un hongo hipomicete, designado como ARF18 (Arkansas Fungus 18), el cual actúa como agente

biocontrolador de *Heterodera glycines*. El ARF18 cuando se añade al suelo suprime significativamente los huevos de *H. glycines*; el hongo también se ha podido aislar de los quistes colectados en varios estados del sur de los EE. UU., lo cual refleja adaptabilidad en los suelos naturales. Ambos autores determinaron el efecto de 22 pesticidas sobre el crecimiento micelial del hongo ARF18 con el objetivo de conocer el grado de compatibilidad con otros pesticidas que comúnmente son utilizados en soya. Los pesticidas aldicarb, bentazone y clorotalonil tuvieron poco o ningún efecto sobre el hongo, pero el benomil y el metiltiofanato inhibieron completamente al hongo; seguido por el carbaryl, carboxin y myclobutanil. Lo anterior sugiere que los primeros pesticidas se podrían considerar dentro de un programa de manejo integrado de plagas con el ARF18 en el cultivo de la soya.

Meyer y Wergin (1998, pp. 451-469) estudiaron el mecanismo de colonización de *Verticillium lecanii* sobre *Heterodera glycines* en soya. Entre 16 horas las hifas del hongo empezaron a colonizar la matriz gelatinosa, pero se detectó en pocas ocasiones sobre los huevos no eclosionados. La penetración del hongo en la hembra y en las paredes de los quistes fue observado 3 días después de la inoculación. Más adelante, Meyer y colaboradores (1998, pp. 451-469) determinaron que este hongo puede crecer en asociación con las raíces de soya; sin embargo, es un pobre colonizador de la rizosfera.

En Puerto Rico, Lara y colaboradores (1996, pp. 143-152) evaluaron en campo la eficacia del hongo *Paecilomyces lilacinus* sobre el nematodo nodulador y su rentabilidad en tomate. *P. lilacinus* redujo las poblaciones de *Meloidogyne incognita* en el suelo y en las raíces, parasitó los huevos del nematodo, disminuyó la nodulación radical e

incrementó los rendimientos y los beneficios económicos del cultivo. Este organismo no afectó las poblaciones de los nematodos *Rotylenchulus reniformis* ni *Helicotylenchus dihystra*. Concluyen también que es más conveniente la utilización del hongo solo, eliminando de esta manera los efectos adversos del nematocida al agroecosistema y que la incorporación del hongo al momento de la siembra es la práctica más favorable para el control del nematodo agallador de raíces.

Por su parte, Dos Santos, Ferraz y Muchovej (1992, pp. 183-192) evaluaron en agar 20 especies de hongos aislados de raíces y suelo recolectadas en 50 localidades de Brasil, como agentes de control biológico frente a segundos estadios juveniles, huevos y masas de huevos de *Meloidogyne incognita*. Ensayos *in vitro* mostraron que aislamientos de *Paecilomyces lilacinus*, *Arthrobotrys conoides*, *A. musiformis*, *A. robusta*, *Monoacrosporium ellipsosporum*, *Dactylaria thaumasia*, *Cylindrocarpon sp.* y *Trichoderma harzianum* fueron parásitos eficientes. Se observó una variabilidad considerable entre aislamientos de la misma especie. Los aislamientos más interesantes, *M. ellipsosporum*, *P. lilacinus*, *Fusarium oxysporum*, *T. harzianum*, *A. robusta* y *D. thaumasia*, se evaluaron nuevamente frente a *M. incognita* raza 3 dentro de macetas en invernadero. Cada hongo y el nematodo, solo o en combinación, se mezclaron con suelo fumigado y sin fumigar. Luego, a los 10 días se trasplantó una plántula de tomate en cada maceta. Después de 60 días, *M. ellipsosporum* fue el único hongo que mostró capacidad para el control de *M. incognita*. El número de agallas y masas de huevos en las raíces fueron significativamente reducidos.

En un estudio similar, Freitas, Ferras y Muchovej (1995, pp. 109-115) evaluaron *in vitro* 19 aislamientos de *Paecilomyces lilacinus* de diferentes países y regiones

de Brasil, más un aislamiento de *Cylindrocarpon destructans*. Los aislamientos variaron en su habilidad para colonizar los huevos. En estudios en invernadero con plantas de tomate, aislamientos de *P. lilacinus* redujeron el número de agallas de *Meloidogyne javanica*, pero hubo diferencias en su eficacia. Los aislamientos procedentes de Francia e Italia fueron los más efectivos tanto *in vitro* como en invernadero. También menciona que *P. lilacinus* es un hongo que ofrece grandes ventajas como agente de control biológico, contra *Meloidogyne spp.*, debido a su gran adaptabilidad a diferentes tipos de suelo y que cuenta con un alto potencial parasítico. Paecisav-1 (1997) reporta que durante varios años se ha investigado que *P. lilacinus* parasita huevos y hembras de nematodos, causando deformaciones, destrucción de ovarios y limitando la eclosión de huevos; a la vez, se ha comprobado que en condiciones de pH ligeramente ácido, produce toxinas que afectan el sistema nervioso de los nematodos.

En Costa Rica ya se encuentran algunos nematocidas biológicos registrados para uso comercial y de los cuales se mencionan los siguientes:

De acuerdo con Registro del Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG (1997, N.º 4133), existe un compuesto de fermentación de origen microbial producido a partir del hongo hipomycete *Myrothecium spp.* Esta cepa originalmente fue aislada del nematodo del quiste de la soya *Heterodera glycines* y ha sido altamente seleccionada con el fin de aumentar su actividad contra los nematodos parásitos de las plantas, especialmente la especie *Meloidogyne incognita*. El hongo es un saprófito comúnmente distribuido en todo el mundo. El ingrediente activo es una composición microbial que contiene todos los componentes sólidos y solubles de la fermentación. No existen propágulos viables en este producto, según se ha

determinado en las pruebas microbiales del producto final.

En Registro del MAG (1990, N.º 2895), existe el producto nematicida a base de hongos hipomicetes (son organismos habitantes del suelo) que son nematófagos, o sea, se alimentan con nematodos fitoparásitos. Estos hongos crecen en material vegetal en descomposición, estiércol y también en excrementos de conejo y de gallina. Los tres hongos involucrados son *Dactylella brochophaga*, *Arthrobotrys oligospora* y *Arthrobotrys botryospora*. Los hongos realizan su trabajo de destrucción de los nematodos de varias formas. En algunas especies, las prolongaciones finas del hongo tienen ramificaciones, las cuales forman lazos circulares y estos lazos en movimiento forman redes tridimensionales. Esta red secreta una sustancia pegajosa cuando entra en contacto con los nematodos, estos son capturados tan efectivamente como una mosca en una tela de araña. Después de que el hongo captura al nematodo, emite ramificaciones que penetran dentro del nematodo y se desarrollan dentro de él y simplemente absorben sus tejidos.

El Registro del MAG (1999, N.º 4272) informa que este producto contiene la bacteria *Pseudomonas cepacia* tipo Wisconsin, hoy se llama *Bulklosteria cepacia*, se identifican como colonizadoras de las raíces y rizosferas de maíz; sin embargo, otras pruebas indican que este biotipo puede colonizar raíces de plantas de muchos cultivos. La bacteria produce antibióticos, los cuales son efectivos contra un diverso rango de hongos patógenos de las plantas. Cuando se aplica a semillas, la bacteria coloniza el sistema de raíces en desarrollo y por la producción de antibióticos protege las semillas de hongos y nematodos patógenos de la planta. No es considerada patógena de humanos o animales.

El producto se aplica directamente al suelo al surco o mediante inmersión de las

plantas. Una vez en el suelo, se produce una simbiosis natural de las bacterias con las raíces de las plantas, dándoles a estas un mayor vigor y resistencia natural para convivir con los patógenos del suelo. No hay desarrollo de resistencia genética al producto, lo que conlleva a un eventual equilibrio poblacional de los nematodos. En Costa Rica está autorizado para aplicarse en el cultivo del café (*Coffea arabica*) y contra los géneros *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp., *Helicotylenchus* spp., *Hoplolaimus* spp. y *Belonolaimus* spp.. La dosis recomendada es de 1 a 1,2 litros de producto/200 litros de agua no clorada, una aplicación cada 14 o 28 días. Después de la aplicación inicial se deben hacer de 3 a 5 aplicaciones más para que la raíz de las plantas quede bien colonizada por las rizobacterias. No existe restricción entre la última aplicación y la cosecha y el intervalo de reingreso en el área tratada es de 3 a 4 horas.

Conclusiones

A modo de conclusión es importante señalar que el trabajo anterior sobre los hongos y bacterias, es suficiente para realizar investigación e incorporar los resultados en programas de manejo integrado de nematodos fitoparásitos y puede ser exitoso, al igual que otras soluciones de control integrado de plagas y enfermedades. Es indispensable disponer de una exhaustiva información sobre la selectividad de los productos biológicos con los organismos beneficiosos, sin olvidar que, en la práctica, la pericia en el manejo de los factores que inciden en la selectividad junto con el seguimiento de la evolución de las plagas y de sus enemigos naturales. La biología y la adaptación de estos organismos son muy específicas en su modo de lograr hacer un efecto nematicida, de ahí la importancia de estudiar las condiciones de suelo, temperatura de suelo, examen microbiológico etc. Lo anterior, debido a

El producto se aplica directamente al suelo al surco o mediante inmersión de las plantas. Una vez en el suelo, se produce una simbiosis natural de las bacterias con las raíces de las plantas, dándoles a estas un mayor vigor y resistencia natural para convivir con los patógenos del suelo. No hay desarrollo de resistencia genética al producto, lo que conlleva a un eventual equilibrio poblacional de los nematodos.

Este tipo de información planteada desde el punto de vista en investigaciones agropecuarias, nos da posibilidades de utilizar nematocidas biológicos y sustancias naturales en el control de nematodos fitoparásitos, desarrollando un modelo de desarrollo en el manejo integrado de plagas, donde tendríamos la posibilidad de no usar nematocidas químicos en un futuro, o por lo menos reducir sustancialmente su uso en nuestra agricultura.

que en muchas ocasiones las condiciones agroecológicas varían en la adaptación, tanto para los hongos como para las bacterias. Los hongos y bacterias, como controladores biológicos de nematodos fitoparásitos, son los organismos que más se reproducen y es por su forma fácil de reproducirse en medios de laboratorio, siendo las formas de granulados y polvo mojable, las que brindan un mayor éxito en la presentación de este tipo de producto. Pero se necesita un mayor esfuerzo en investigaciones en esta línea, a fin de obtener formulaciones de mayor estabilidad.

A pesar de que se está informando de organismos naturales para el control de nematodos fitoparásitos, también es necesario implementar soluciones prácticas, donde se integre un manejo adecuado desde el punto de vista fitosanitario y salud humana igual como si fueran nematocidas químicos. Otra importancia de este tema, es que promueve que muchas organizaciones de gobiernos y de casas comerciales fomenten e implementen programas de manejo integrado del cultivo (ICM), específicos para cada zona y cultivo, donde se combinan diferentes aspectos del control integrado, como son el manejo de las prácticas culturales normales en cada cultivo.

Este tipo de información planteada desde el punto de vista en investigaciones agropecuarias, nos da posibilidades de utilizar nematocidas biológicos y sustancias naturales en el control de nematodos fitoparásitos, desarrollando un modelo de desarrollo en el manejo integrado de plagas, donde tendríamos la posibilidad de no usar nematocidas químicos en un futuro, o por lo menos reducir sustancialmente su uso en nuestra agricultura. Aquí inclusive cabe la importancia de la sustitución de aplicaciones del bromuro de metilo, sustancia bien cuestionada de la cual a escala mundial se busca una alternativa,

de manera que es totalmente factible aplicar esta tecnología en la producción, obteniendo resultados de manera sostenible en la producción de alimentos para la humanidad y el mejor desarrollo de su medio ambiente. Por otra parte, hay que tomar en cuenta la regulación y compromiso que el planeta está adquiriendo con el calentamiento global y la contaminación de suelos y aguas; en este sentido, precisamente, no solo se buscará la eliminación del bromuro de metilo sino que también de muchos productos químicos, como los nematocidas tradicionales, que contaminan los suelos y aguas, que representan un verdadero problema de la humanidad en la actualidad.

Bibliografía

- Arauz, L. F. *Fitopatología: Un Enfoque Agroecológico*. San José, Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 1998.
- Bala, G., Gowen, S. R. y Mcconnie-Gibbs, H. Utilisation of *Pasteuria penetrans*, *parthenium hysterophorus* y *azadirachta indica* for Control of root-knot nematodes. MEMORIA XXXI Reunión Anual ONTA. Organización de Nematólogos de los Trópicos Americanos y XXXIX Reunión Anual APS-CD Sociedad Americana de Fitopatología - División Caribe. Puerto Rico. Resumen. 1999.
- Barron, G. L. *The nematode-destroying fungi. topics in Mycobiology N.º 1*. Canadian Biological Publications Ltd., Guelph. (1977-actualizado 2005).
- Chen, Z.X. y Dickson, D.W. "Review of *pasteuria penetrans*: Biology, Ecology and Biological Control Potencial". *Journal of Nematology*. USA. 1998.
- Ciancio, A., Farfan, V.V., Torres, C.E. y Grasso, G. "Observations on a *Pasteuria* isolate Parasitic on *hoplolaimus galeatus* in Perú". *Journal of Nematology*. USA. 1998.
- Dos Santos, M. A., Ferraz, S. y Muchovej, J.J. Evaluation of 20 Species of Fungi from Brazil for Biocontrol of *Meloidogyne incognita* race 3. *Nematopica*. USA. 1992.
- Freitas, L. G., Ferraz, s. y Muchovej, J.J.

- Effectiveness of different isolates of *Paecilomyces lilacinus* and an isolate of *Cylindrocarpon destructans* on the control of *Meloidogyne javanica*. *Nematropica*. USA. 1995
- Gauma, P. *Pasteuria penetrans*. Bacteria Antagónica de *Meloidogyne* sp. Peea INTA Bella Vista. 2006.
- Hewlett, T.E., Hewlett, E.M. y Dickson, D.M. Response of *Meloidogyne* spp., *Heterodera lycines* and *Radopholus similis* to Tannic acid. *Suplement to the Journal of Nematology*. USA.
- Huebner, R.A., Rodríguez-Kabana, R. y Patterson, R.M.. Hemicellulosic Waste and Urea for Control of Plant Parasitic Nematodes: Effect on Soil Enzyme Activities. *Nematropica*. USA. 1983.
- Instituto de Recerca Tecnológica, Agroalimentarios. *Control Biológico de Nematodos Fitoparásitos*. 2005. www.agroinformacion.com/leer-articulo.aspx?not=410-14k
- Jiménez, R. M. *Antecedentes preliminares sobre control natural de nematodos fitoparásitos de la Primera Región*. Idesa. Chile. 1979.
- Kim, D.G. y Riggs, R.D. *Effects of Some Pesticides on The Growth of Arf18 and its Pathogenicity to Heterodera glycines*. *Journal of Nematology*. USA. 1998.
- Lara, J., Acosta, N., Betancourt, C., Vicente, N. y Rodríguez, R. *Control Biológico de Meloidogyne incognita en Tomate en Puerto Rico*. *Nematropica*. USA. 1996.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Nemout 0.65 WP. Depto. de Registro de Abonos y Plaguicidas. Dirección de Protección Fitosanitaria. Costa Rica. 1990.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).. Ditera 100 WP. Depto. de Registro de Abonos y Plaguicidas. Dirección de Protección Fitosanitaria. Costa Rica. 1997
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Microp 0.4 sl. Depto. de Registro de Abonos y Plaguicidas. Dirección de Protección Fitosanitaria. Costa Rica 1999.