

Eficacia de *Paecilomyces lilacinus* en el control de *Meloidogyne incognita* que ataca al cultivo de *Capsicum annuum*, “pimiento piquillo”

Efficacy of *Paecilomyces lilacinus* in the control of *Meloidogyne incognita* which attacks the cultivation of *Capsicum annuum*, “piquillo pepper”

Gabriela Fernández-Santillán¹, Lisi Cerna-Rebaza² y Julio Chico-Ruiz²

¹ Empresa Soluciones Agrosostenibles SAC. Trujillo-Perú

² Laboratorio de Fitopatología. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo-Perú, jchico22@hotmail.com²

RESUMEN

En los últimos años los nemátodos agalladores, *Meloidogyne sp.*, se han sumado a los problemas fitosanitarios que limitan la producción de *Capsicum annuum*. Frente al control químico “contaminante” está la alternativa del control biológico. Por eso el interés de demostrar la eficacia de *Paecilomyces lilacinus* sobre la nodulación radicular producida por *Meloidogyne incognita* que parasita a *C. annuum*, “pimiento piquillo”, cultivado en condiciones de invernadero. Se realizaron cuatro grupos experimentales y un testigo, con 15 repeticiones cada uno; se utilizó como sustrato humus y arena (1:1), al cual se adicionó, dos semanas antes del trasplante, *P. lilacinus* al 10, 20, 30 y 40 kg/ha según diseño experimental. En cada bolsa de 5 kg se sembró una plántula de pimiento, y una semana antes se inoculó 10 000 huevos del fitonemátodo. Las plantas se evaluaron a las diez semanas, teniendo en cuenta peso y longitud de planta, número de hojas, diámetro del tallo, severidad, eficacia, y relacionándolos mediante el análisis de varianza y prueba de Duncan. Los resultados muestran que los tratamientos con *P. lilacinus* a una dosis de 30 y 40 kg/ha presentaron los más bajos niveles de severidad y los más altos niveles de eficacia. Se concluye que el control biológico con *P. lilacinus* es una alternativa como parte del manejo integrado del nemátodo del nódulo radical.

Palabras claves: *Paecilomyces lilacinus*, *Meloidogyne sp.*, pimiento piquillo, nodulación radicular.

ABSTRACT

In recent years the root knot nematodes, *Meloidogyne sp.*, have joined the phytosanitary problems that limit the production of *Capsicum annuum*. In contrast to “contaminant” chemical control is the alternative of biological control. Therefore, the interest to demonstrate the efficacy of *Paecilomyces lilacinus* on root nodulation produced by *Meloidogyne incognita* that parasitizes *C. annuum* “piquillo pepper” cultivated under greenhouse conditions. Four experimental groups and one control were performed, with 15 replicates each; humus and sand (1:1) were used as substrate, to which 10, 20, 30 and 40 kg/ha of *P. lilacinus* were added two weeks before transplantation according to experimental design. A seedling of pepper was planted in each 5-kg bag, and a week earlier 10,000 eggs of the phytonematode were inoculated. The plants were evaluated at ten weeks, taking into account: plant weight and length, leaf number, stem diameter, severity, efficacy, and relating them by analysis of variance, and Duncan’s test. The results show that treatments with *P. lilacinus* at a dose of 30 and 40 kg/ha presented the lowest levels of severity and the highest levels of efficacy. It is concluded that the biological control with *P. lilacinus* is an alternative as part of the integrated management of the root knot nematode.

Key words: *Paecilomyces lilacinus*, *Meloidogyne incognita*, piquillo pepper, Root knot nematode.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de productos químicos y la resistencia del huésped han sido dos grandes estrategias para controlar los nemátodos parásitos de plantas. Los métodos de control químico han tenido éxito, pero tienen problemas relacionados con los riesgos de contaminantes que intervienen en su fabricación y los residuos que quedan en las partes comestibles de las

plantas tratadas. En la actualidad el control biológico parece ser el enfoque más relevante y prácticamente exigente en el control de nemátodos de las raíces (Nasr y Ansari, 2006; Gil y Chico, 2013).

La mayoría de especies de nemátodos conocidas viven libremente en el agua o en el suelo, y se alimentan de microorganismos, plantas o animales, pero algunos

atacan y parasitan organismos vivos. Varios cientos de estas especies se alimentan de plantas vivas, obteniendo su alimento con lanzas o estiletes. Esto produce enfermedades, llegando a causar pérdidas del 14 % de las cosechas (Rodríguez *et al.*, 2007). El género *Meloidogyne* se encuentra distribuido en todo el mundo, especialmente en zonas cálidas, y desde luego en invernaderos (Farfán, 2011). La mayor parte de las pérdidas de producción agrícola que causan está relacionada con su proceso de la alimentación, ya que disminuyen la capacidad de las raíces para captar y transportar nutrientes al resto de la planta, lo que se traduce en un debilitamiento general y en pérdidas de producción. (Salazar *et al.*, 2012).

El ciclo de vida de *Meloidogyne incognita* involucra cinco estados de desarrollo, que comienza con el desarrollo embriogénico dentro del huevo, de lo cual resulta la formación del primer estado juvenil; este posteriormente muda y da origen al segundo estado juvenil (II) dentro del huevo. El juvenil II eclosiona del huevo y migra en el suelo buscando su alimento, siendo este el único estado infectivo (Farfán, 2011). Starr *et al.* (2002) indican que cuando el hospedero es susceptible al nemátodo, responde a la penetración del estilete e inyección de enzimas de este, modificando las células, las que comienzan a incrementar su división y crecimiento estimulando la formación de agallas (células gigantes); así, una vez establecidos en el tejido, el juvenil aumenta su tamaño en un breve tiempo. El ciclo de vida puede completarse entre 3-4 semanas, dependiendo, entre otros factores, de la temperatura del suelo (Hidalgo, 2008; Singh *et al.*, 2013).

Una de las especies de hongos más estudiadas en el control de *M. incognita* es *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson, la cual habita el suelo en forma natural y ha demostrado capacidad de regular las poblaciones de nemátodos a niveles no dañinos al cultivo, y en algunos casos ha servido como estimulador de desarrollo de las plantas. Este patógeno parasita los huevos, invadiéndolos y después destruyendo sus embriones, evitando así la formación de larvas. También parasita hembras a las cuales les causa la muerte. Se establece en el suelo, crece saprofiticamente, se disemina con bastante rapidez y en corto tiempo llega a ser la especie dominante (Lora y Betancourth, 2008). Sin embargo, en algunos estudios encontraron baja efectividad de este organismo en el control de nemátodos, lo cual se puede atribuir a la época de aplicación, ya que el hongo debe establecerse en el suelo para poder

actuar (Romero, 2004). También se reporta que tienen la capacidad de producir enzimas quitinolíticas que pueden destruir la pared de los huevos y la cutícula de juveniles, lo cual facilita el proceso de micoparasitismo (Xiujuan *et al.*, 2000).

En el cultivo del banano se ha demostrado la efectividad de *P. lilacinus* contra *Rodopholus similis* y *M. incognita*, principalmente cuando se utiliza como agente preventivo o ante infecciones ligeras. Son también requisitos necesarios para lograr una buena efectividad que las plantaciones tengan una buena atención agrotécnica, mantener una buena humedad en las áreas tratadas con el hongo, aplicar al atardecer para protegerlo del sol y lograr buena incorporación del producto al suelo (Busquets *et al.*, 2005).

El género *Capsicum* incluye un promedio de 25 especies y tiene su centro de origen en las regiones tropicales y subtropicales de América. Dentro de las hortalizas el pimiento (*Capsicum annuum* L.) es de gran trascendencia por su valor alimenticio y un alto contenido de vitaminas A y C. Es la solanácea más importante como comestible después de la papa, y como condimento después del tomate (Fernández, 2007). El “pimiento piquillo” se ha convertido en uno de los principales productos de la canasta agroexportadora y en uno de los principales motores de crecimiento del sector agrícola en el Perú, que dispone de zonas con características inigualables para su cultivo, como lo demuestra el rendimiento medio por hectárea, que puede llegar a las 40 t en los cultivos que emplean tecnología de punta, con un costo por hectárea de \$4500 a 5000. Las condiciones edafoclimáticas en el Perú son óptimas para el cultivo de “pimiento piquillo” durante todo el año y le permite abastecer al mercado mundial en períodos en que algunos de los principales productores mundiales de este producto dejan de producir, otorgándole al empresario una formidable ventaja competitiva. Actualmente este cultivo se concentra principalmente en el norte (Lambayeque, La Libertad y Piura), Lima y en el sur (Ica) (Ministerio de Agricultura, 2015).

En los últimos años los nemátodos agalladores, *M. incognita*, se han sumado a los problemas fitosanitarios que limitan la producción de *C. annuum* (Ros-Ibañez *et al.*, 2014). Por otro lado, debido a problemas de contaminación ambiental, inherentes al uso de agroquímicos, surge la necesidad de buscar otras opciones de control que sean prácticas y económicamente

factibles. Por lo tanto, es necesario disponer de otras alternativas más compatibles con el ambiente, tales como el control biológico, donde a partir de *P. lilacinus* se obtienen biopreparados de gran eficiencia en el control de fitonemátodos. Por estas razones se planteó el objetivo de determinar la eficacia de *P. lilacinus* en el control de *Meloidogyne* sp. que ataca al cultivo de *Capsicum annuum*, “pimiento piquillo”.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en la Empresa Soluciones Agrosostenibles SAC, ubicada en la ciudad de Trujillo, La Libertad-Perú.

Material biológico

Las raíces de pimiento con presencia de nódulos de *M. incognita*, que se utilizaron como fuente de inóculo procedieron de campos de producción de la zona de Virú-Chavimochic. *P. lilacinus* fue cultivado sobre sustrato estéril de granos de maíz. La cepa procedió de Senasa, cuyo nombre comercial Nemacontrol, y presenta las características de pureza mayor del 95 %, viabilidad mayor del 90 % y concentración de $5,2 \times 10^9$ de conidias viables (comprobado en laboratorio, datos no mostrados).

Siembra de semillas de “pimiento piquillo”

Se utilizó una bandeja germinadora donde se incorporó sustrato constituido por humus y musgo en proporción 1:1. Se sembró 150 semillas, previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio al 2 % y la aplicación del fungicida en polvo OMAI 0,3 kg/cil, con la finalidad de evitar la infestación de *Pythium* sp. Se dejó en oscuridad por unos días, cuando empieza a germinar se retira de la oscuridad y se deja que continúe el crecimiento de la plántula.

Llenado de bolsas con sustrato

El sustrato, procedente de tierras eriazas, fue tomado de los primeros 10 cm de superficie (expuesta a radiación solar). Al suelo se le agregó humus de lombriz para luego ser llenado en una proporción de 30 t/ha (0,131 kg por bolsa de 5 kg); también se realizó la fertilización con DAP y KNO_3 en proporción de 1,5 g, y 1,5 g respectivamente, luego se regó con agua de grifo a nivel de capacidad de campo. Después de 30 días se procedió a trasplantar las plantas, una por cada maceta de 5 kg. El riego del cultivo se realizó a nivel de capacidad de campo (dos veces por semana) para que mantenga una humedad adecuada.

Inoculación de *P. lilacinus*

La inoculación se realizó unas semanas antes de inocular el fitonemátodo para que tenga tiempo suficiente de poder establecerse en el suelo.

Inoculación de huevos de *M. incognita*

Se realizó también una semana antes del trasplante de *C. annuum* con una cantidad de 10 000 huevos/bolsa de 5 kg.

Extracción de huevos del fitonemátodo

Las raíces con nódulo son lavadas suavemente con agua de grifo y se traspasan a un frasco que contiene hipoclorito de sodio al 0,5 %. Son agitadas en forma manual durante 3 min y luego se pasa la suspensión por los tamices. Los residuos recolectados en el tamiz más fino se lavan con agua de grifo y se vierten a un pequeño beaker para efectos de conteo de huevos.

Diseño y evaluación

El diseño experimental es completamente al azar (DCA), con 15 repeticiones por tratamiento. Se establecieron cuatro grupos de estudio (dosis kg/ha) y un testigo (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos establecidos para evaluar la eficacia de *P. lilacinus* en el control de *M. incognita*

Tratamiento	Dosis		Plantas por tratamiento
	kg/ha	g	
T1: <i>P. lilacinus</i> vs. <i>Meloidogyne</i> sp.	10	0,65	15
T2: <i>P. lilacinus</i> vs. <i>Meloidogyne</i> sp.	20	1,31	15
T3: <i>P. lilacinus</i> vs. <i>Meloidogyne</i> sp.	30	1,96	15
T4: <i>P. lilacinus</i> vs. <i>Meloidogyne</i> sp.	40	2,62	15
T5: Testigo, solo <i>Meloidogyne</i> sp.	-	0	15

Después de 10 semanas, las plantas de “pimiento piquillo” fueron evaluadas en las siguientes variables:

- Altura de planta, en cm, se midió desde el cuello de planta hasta el brote apical.

- Diámetro de planta, en cm, medido con un calibre (pie de rey). Se midió la parte media del tallo.
- Peso fresco de parte aérea (hojas, tallos, flores y frutos), expresado en gramos.
- Peso seco de parte aérea en una estufa por 48 h y a 80 °C.
- Peso fresco de raíces, expresado en gramos.
- Severidad, según la escala propuesta por Brigde y Page (1980).
- Eficacia según Abbott (1925) modificada.

Evaluación de suelo y raíces

a) Extracción de nemátodos del suelo

Las muestras de suelo se procesaron mediante la técnica de Christie y Perry (1951) utilizando 100 cc de

la muestra previamente homogenizada, y las raíces se procesaron mediante la técnica de Método Baermann (1917) modificada, empleando 10 g de ellas. Cada muestra fue procesada por duplicado, y luego de 48 h de reposo fueron extraídos los sedimentos, se colocaron en placa de lectura y luego examinados con ayuda de un microscopio estereoscópico.

b) Severidad (estimación del índice de agallas en las raíces)

La severidad de los síntomas causados por *M. incognita* en el sistema radicular se estimó mediante la observación del índice de agallas en una escala de 0 a 10 (0: ninguna agalla, 7: 100 % de las raíces presentan agallas, 10: no existe sistema radicular y la planta está muerta (Bridge y Page, 1980) (Fig. 1).

Diagrama del índice de agallas para el nemátodo agallador
Cortesía de John Bridge y Sam Page (1980)

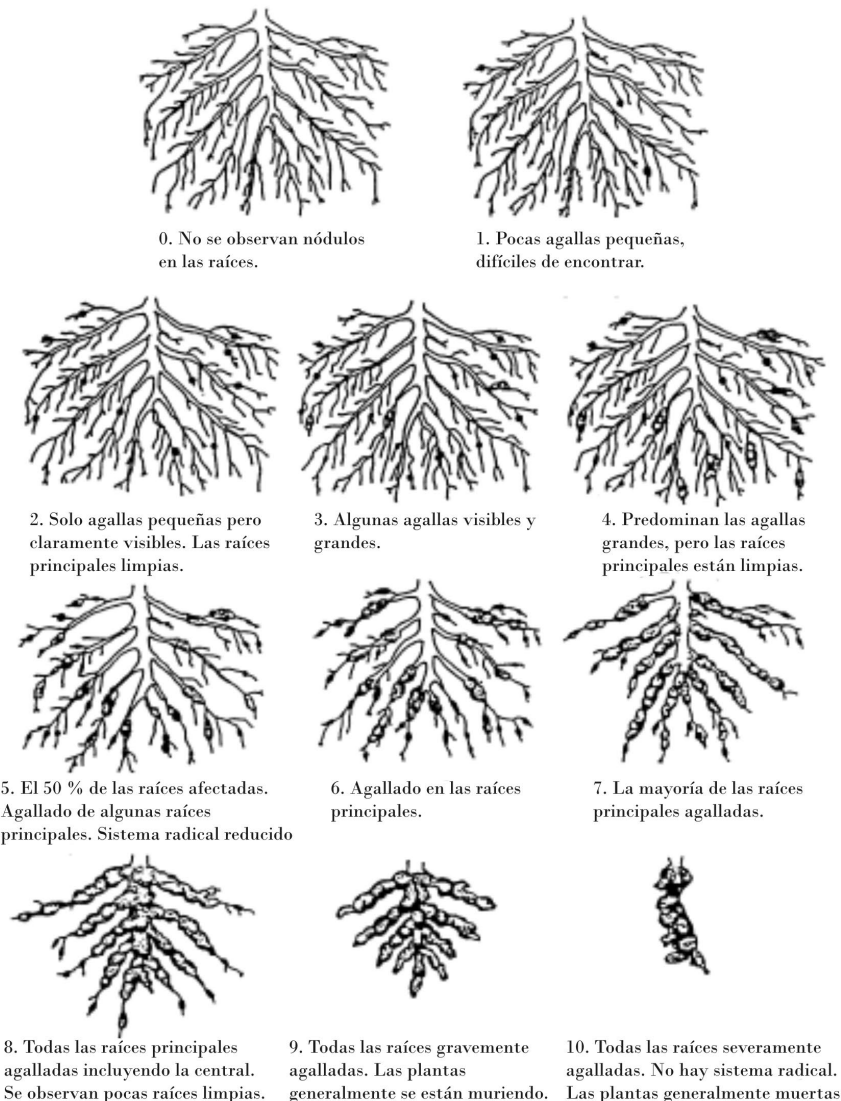


Figura 1. Escala propuesta por Brigde y Page, (1980), para evaluar a severidad del daño ocasionado por *Meloidogyne* sp.

c) *Índice de eficacia Abbott*

Finalmente, se calculó el número de fitonemátodos por planta sumando los juveniles presentes en los 100 cc de suelo de cada maceta con los huevos, juveniles y adultos obtenidos del total del sistema radicular de cada planta. Con este dato se calculó el índice de eficacia de los tratamientos en la reducción de las densidades de poblaciones finales de *M. incognita* mediante la fórmula Abbott modificada para cada maceta.

$$\text{Eficacia} = [1 - (Ni/NMax)] \times 100$$

donde *Ni* es el número de nemátodos en la maceta *i* al finalizar el ensayo, y *Nmax* es el número máximo de nemátodos por maceta obtenido entre todos los tratamientos y repeticiones al finalizar el ensayo.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el SPSS v. 22. Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante el ANOVA, y las medias se compararon mediante la prueba Duncan ($\alpha \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 2. Evaluación de las diferentes variables en “pimiento piquillo” cuando fueron sometidas a diferentes tratamientos con *P. lilacinus* y *M. incognita* (los resultados son promedios de 15 plantas evaluadas a las 10 semanas de iniciada la experiencia)

Tratamientos	ϕ tallo (cm)	Altura de tallo (cm)	Número de hojas	Peso fresco de follaje (g)	Peso seco de follaje (g)	Longitud de raíz (cm)	Peso fresco de raíz (g)	Severidad (%)	Eficacia (%)
T1 10 kg/ha	0,376 b	24,53 b	35 a	19,78 c	3,8 b	38,07 b	4,900 c	37,3 b	30,1
T2 20 kg/ha	0,382 b	24,93 b	34 a	19,91 c	3,6 b	34,60 b	3,473 d	35,3 b	28,3
T3 30 kg/ha	0,430 a	28,4 a	36 a	25,14 b	4,5 a	40,33 a	7,453 b	31,3 b	40,1
T4 40 kg/ha	0,438 a	29,67 a	38 a	33,48 a	4,9 a	42,27 a	9,100 a	25,3 c	60,3
T5 <i>Meloidogyne</i>	0,291 c	20,53 c	23 b	8,90 d	1,8 c	25,80 c	3,153 d	52 a	0

* Letras distintas indican diferencias significativas ($\alpha \leq 0,05$).

Los mejores resultados se observan con T4 (40 kg/ha) en todas las variables analizadas de diámetro y altura de tallo, peso fresco y seco de follaje, longitud y peso fresco de raíz y finalmente número de hojas.

Esto se relaciona con la severidad (25,3 %), la más baja, y la eficacia (60,3), la más alta que ejerce *P. lilacinus* sobre *M. incognita*.

Evaluación de diámetro de tallo

En el análisis de varianza en la *Tabla 2* hay diferencia significativa entre los tratamientos y el testigo (T5), pero no las hay entre T1 y T2, y T3 y T4. La prueba Duncan nos muestra dos grupos claros, donde se ve el mejor diámetro del tallo en los de 40 kg, 30 kg de *P. lilacinus* con 0,4387 cm y 0,4300 cm, respectivamente.

Tabla 3. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para diámetro de tallo de “pimiento piquillo”

Enfrentamiento	Promedio (cm)	Significancia (*)
T4	0,4387	a
T3	0,4300	a
T2	0,3820	b
T1	0,3760	b
T5	0,2913	c

(*) Los tratamientos con la misma letra no presentan diferencias significativas.

Evaluación de altura de tallo

En el análisis de varianza (*Tabla 2*) hay diferencia significativa entre los tratamientos y el testigo (T5), pero no las hay entre los tratamientos similares a los analizados

en diámetro del tallo. En la prueba Duncan (*Tabla 4*) las plantas tratadas con *P. lilacinus* tuvieron un mayor crecimiento de la parte aérea, según se muestra con dos grupos claros para los tratamientos de 40 kg, 30 kg, con 29,67 cm y 28,4 cm, respectivamente.

Tabla 4. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para altura de tallo en “pimiento piquillo”

Enfrentamiento	Promedio (cm)	Significancia (*)
<i>P. lilacinus</i> 40 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	29,67	a
<i>P. lilacinus</i> 30 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	28,4	a
<i>P. lilacinus</i> 20 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	24,93	b
<i>P. lilacinus</i> 10 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	24,53	b
Testigo <i>Meloidogyne</i>	20,53	c

(*) Los tratamientos con la misma letra no presentan diferencias significativas.

Evaluación de número de hojas

De acuerdo con el análisis de varianza (Tabla 2), todos los tratamientos no muestran diferencias significativas excepto el testigo. La prueba Duncan (Tabla 5) nos

muestra cuatro grupos claros, en lo que hace evidente el número de hojas en los tratamientos de 40 kg, 30 kg, 10 kg, 20 kg, de *P. lilacinus* con 38,40; 36,13; 35,20 y 34,00, existiendo diferencia significativa frente al tratamiento testigo *Meloidogyne* sp. con 23,07.

Tabla 5. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) de número de hojas en “pimiento piquillo”

Enfrentamiento	Promedio	Significancia (*)
<i>P. lilacinus</i> 40 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	38	a
<i>P. lilacinus</i> 30 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	36	a
<i>P. lilacinus</i> 10 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	35	a
<i>P. lilacinus</i> 20 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	34	a
Testigo <i>Meloidogyne</i>	23	b

(*) Los tratamientos con la misma letra no presentan diferencias significativas.

Evaluación de peso fresco de follaje

Según la Tabla 2, para el parámetro peso fresco del follaje, de acuerdo con el análisis de varianza expresado, se infiere

que existe diferencia significativa entre los tratamientos. La prueba de Duncan (Tabla 6) nos muestra un grupo en el tratamiento de 40 kg de *P. lilacinus* con 33,48 g,

Tabla 6. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para peso fresco de follaje expresado en gramos en el control de *M. incognita* por *P. lilacinus* en plantas de “pimiento piquillo” a las 10 semanas

Enfrentamiento	Promedio (g)	Significancia (*)
<i>P. lilacinus</i> 40 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	33,48	a
<i>P. lilacinus</i> 30 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	25,14	b
<i>P. lilacinus</i> 20 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	19,91	c
<i>P. lilacinus</i> 10 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	19,78	c
Testigo <i>Meloidogyne</i>	8,90	d

*Los tratamientos con la misma letra no presentan diferencias significativas.

Evaluación de peso seco de follaje

En la *Tabla 2* se infiere que existe diferencia significativa entre los tratamientos con el testigo. Hay

tratamientos que no muestran diferencias como las parejas T1-T2 y T3-T4. En la *Tabla 7* la Prueba de Duncan nos muestra un grupo en el tratamiento de 40 kg, de *P. lilacinus* con 4,9 g.

Tabla 7. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para peso seco de follaje expresado en gramos en el control de *M. incognita* por *P. lilacinus* en plantas de “pimiento piquillo” a las 10 semanas

Enfrentamiento	Promedio (g)	Significancia (*)
<i>P. lilacinus</i> 40 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	4,9	a
<i>P. lilacinus</i> 30 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	4,5	a
<i>P. lilacinus</i> 10 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	3,8	b
<i>P. lilacinus</i> 20 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	3,6	b
Testigo <i>Meloidogyne</i>	1,8	c

(*) Los tratamientos con la misma letra no presentan diferencias significativas.

Evaluación de longitud de raíz

En cuanto al análisis de varianza expresado en la *Tabla 2*, se infiere que existe diferencia significativa

entre los tratamientos. La Prueba Duncan (*Tabla 8*) nos muestra dos grupos en los que se hace evidente la longitud de raíz en los tratamientos de 40 kg, 30 kg, de *P.* con 42,27 g y 40,33 g, respectivamente.

Tabla 8. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para longitud de raíz expresado en gramos en el control de *M. incognita* por *P. lilacinus* en plantas de “pimiento piquillo” a las 10 semanas

Enfrentamiento	Promedio (g)	Significancia (*)
<i>P. lilacinus</i> 40 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	42,27	a
<i>P. lilacinus</i> 30 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	40,33	a
<i>P. lilacinus</i> 10 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	38,07	b
<i>P. lilacinus</i> 20 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	34,60	b
Testigo <i>Meloidogyne</i>	25,80	c

(*) Los tratamientos con la misma letra no presentan diferencias significativas.

Evaluación de peso fresco de la raíz

En la *Tabla 2* se infiere que existe diferencia significativa entre los tratamientos. Con la Prueba Duncan (*Tabla 9*) nos muestra un grupo que hace evidente el mejor peso de raíz en el tratamiento de 40 kg de *P. lilacinus* con 9,1000 g.

Las plantas tratadas con alta concentraciones de *P. lilacinus* tuvieron un mayor crecimiento de la parte aérea (*Tabla 2*) debido a que estos microorganismos

también estimulan el desarrollo de la planta (Farfán, 2011). También Hernández *et al.* (2011) comentan que el hongo favorece la disponibilidad de fósforo en el suelo, contribuyendo así a un mayor peso de tallos y raíces. Además, según lo reportado por Cabanillas *et al.* (1988), posee la habilidad de colonizar células epidérmicas y la corteza de raíces, y de esta forma protege a la planta del ataque de microorganismos, permitiendo así que la planta desarrolle por la fuente de nutrientes que se le proporcionaba en el riego.

Tabla 9. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para peso fresco de raíz expresado en gramos en el control de *M. incognita* por *P. lilacinus* en plantas de “pimiento piquillo” a las 10 semanas

<i>Enfrentamiento</i>	<i>Promedio (g)</i>	<i>Significancia (*)</i>
<i>P. lilacinus</i> 40 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	9,1000	a
<i>P. lilacinus</i> 30 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	7,4533	b
<i>P. lilacinus</i> 10 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	4,9000	c
<i>P. lilacinus</i> 20 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	3,4733	d
Testigo <i>Meloidogyne</i>	3,1533	d

(*) Los tratamientos con la misma letra no presentan diferencias significativas.

Severidad

Se muestra los datos de nodulación de raíz evaluadas según la escala de Brigde y Page (1980). De acuerdo con el análisis de varianza expresado en la *Tabla 2*, existe diferencia significativa entre los tratamientos. La Prueba Duncan (*Tabla 10*) nos muestra un grupo con el mayor grado de nodulación de raíz en el testigo *Meloidogyne* con 5,20.

Análisis de severidad en la *Tabla 11*, según la escala de Bridge y Page (1980), donde se muestra al tratamiento de 40 kg con el menor porcentaje de infestación 25,33 %, y los tratamientos 30, 20, 10 kg, con 31,33,%; 35,33 % y 37,33 % frente al tratamiento testigo con 52,00 %.

Tabla 10. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para severidad en el control de *M. incognita* por *P. lilacinus* en plantas de “pimiento piquillo” a las 10 semanas

<i>Enfrentamiento</i>	<i>Promedio (g)</i>	<i>Significancia (*)</i>
Testigo <i>Meloidogyne</i> sp.	5,20	a
<i>P. lilacinus</i> 10 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	3,73	b
<i>P. lilacinus</i> 20 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	3,47	b
<i>P. lilacinus</i> 30 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	3,07	b
<i>P. lilacinus</i> 40 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	2,5	c

* Los tratamientos con la misma letra no presentan diferencias significativas.

Tabla 11. Análisis de severidad en el control de *Meloidogyne* sp. por *P. lilacinus* en plantas de “pimiento piquillo” a las 10 semanas

<i>Tratamiento</i>	<i>Grado</i>	<i>Severidad (%)</i>
Testigo <i>Meloidogyne</i> sp.	5	52,00
<i>P. lilacinus</i> 10 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	4	37,33
<i>P. lilacinus</i> 20 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	4	35,33
<i>P. lilacinus</i> 30 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	3	31,33
<i>P. lilacinus</i> 40 kg- <i>Meloidogyne</i> sp.	3	25,33

(*) Escala de evaluación de infección de raíces según Bridge y Page (1980).

Índice de eficacia Abbott

Se muestran los porcentajes de los tratamientos, evaluados según el índice de eficacia Abbott. De acuerdo con el análisis expresado en la Fig. 2, existen diferencias entre los tratamientos, siendo los de mayor eficacia los de 30 y 40 kg, con 40,1 % y 60,3 %, respectivamente, seguidos de 10 y 20 kg, con 30,1 % y 28,3 %.

En las Tablas 2, 10 y 11 observamos un buen control del hongo (T4), manifestado en la severidad (25,3 %) y en la eficacia (60,3) sobre el fitonemátodo. Ello se debe a que las conidias hacen contacto con el cuerpo de los nemátodos, se fijan en la pared externa de su cuerpo, luego germinan y producen unas estructuras especializadas, a través de las cuales penetran en el cuerpo del nemátodo del cual toma sus nutrientes, y se reproduce masivamente invadiendo todo el cuerpo del nemátodo, causándole una enfermedad que finalmente causa su muerte.

En condiciones favorables de humedad, después de la invasión, las estructuras del hongo salen del cuerpo del nematodo, y sobre este se producen nuevas conidias que pueden afectar a otros nemátodos (Monzón *et al.*, 2009). También se conoce que *P. lilacinus* es capaz de

producir toxinas que causan problemas al sistema nervioso de los nemátodos, y deformaciones en el estilete de los nemátodos que sobreviven, lo que permite reducir el daño y sus poblaciones (Linares, 2009). En varias experiencias, los porcentajes de severidad son similares a los obtenidos con “pimiento piquillo”. Por ejemplo, Lora y Betancourth (2008) obtuvieron porcentaje de infección radical del 31 %; Cárdenas (2006) encontró un rendimiento de 75 y 69 % en el tratamiento de 40 y 30 kg, respectivamente, frente al testigo. Por su parte, Giraldo y Leguizamón (1997) hallaron reducción de la población de *Meloidogyne* spp. entre un 32 y 49 % con la aplicación de *P. lilacinus*.

Sobre la eficacia de *P. lilacinus*, Salazar *et al.* (2012) afirman que desde el momento de contacto con los huevos, este hongo crece rápidamente, parasitando los que están en etapa temprana de desarrollo embrionario, lo que corrobora que la aplicación debe hacerse desde la siembra o antes.

Así mismo, Cárdenas (2006) encontró en cultivos de melón (*Cucumis melo*) y sandía (*Citrullus lanatus*) eficiencia con porcentajes de infección radical del 13 %, estableciendo la importancia de *P. lilacinus* dentro del biocontrol de este patógeno.

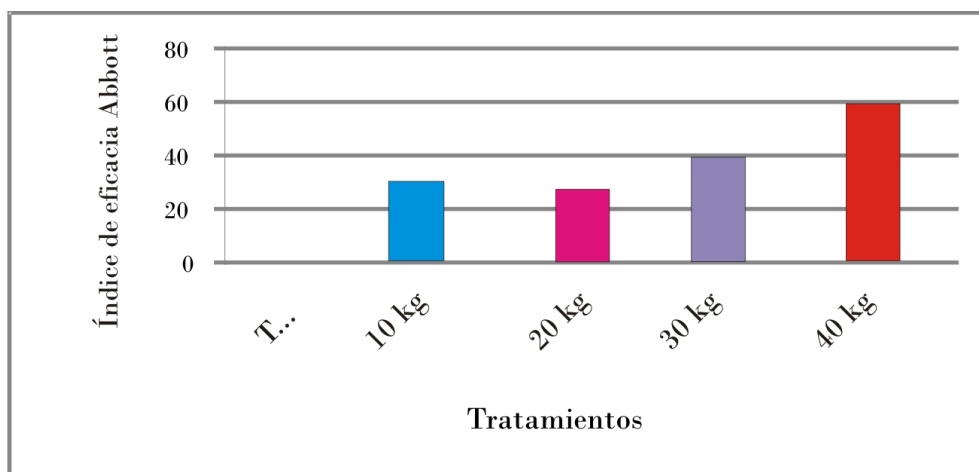


Figura 2. Evaluación de índice de eficacia Abbott en el control de *M. incognita* por *P. lilacinus* a las 10 semanas de iniciados los tratamientos.

Tratamiento *Paecilomyces lilacinus*Tratamiento *Meloidogyne* sp.

Figura 3. Raíces con presencia de nódulos en los tratamientos con *P. lilacinus* y *M. incognita*. Plantas con grado de severidad (3) (tratamiento *P. lilacinus*) y severidad (5) (tratamiento con *Meloidogyne*).

CONCLUSIONES

- Los niveles más altos de eficacia fueron encontrados con los tratamientos de 40 kg y 30 kg, con un porcentaje de 60,3 % y 40,1 %, respectivamente.
- Los niveles más bajos de severidad de 25 % y 31 % lo encontramos con los tratamientos de 40 y 30 kg (T4 y T3, respectivamente); entonces podemos inferir que las plantas de *C. annuum* pueden llegar a tener un desarrollo normal de sus raíces si utilizamos este hongo.
- El tratamiento T4 permitió un buen desarrollo de la planta, tanto de la parte aérea como las raíces.

REFERENCIAS

- Baermann, G.: Eine einfache Methode zur Auffindung von Ankylostomum- (Nematoden)-Larven in Erdproben, Weltevreden Batavia, Geneesk. Lab. Feestbundel: 41-47, Germany, 1917.
- Bridge, J.; P. L. Page: "Estimation of root-knot nematode infestation levels on roots using a rating chart", *Tropical Pest Management* 26: 296-298, USA, 1980.
- Busquets, J. O.; J. Sorribas; S. Verdejo: "Potencial reproductor del nemátodo *Meloidogyne* spp. en cultivos hortícolas", *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetal* 9(3), España, 2005.
- Cabanillas, E.; K. R. Barker; M. I. Daykin: "Histology of the interactions of *Paecilomyces lilacinus* with *Meloidogyne incognita* on tomato", *J. Nematol.* 20: 362-265, USA, 1988.
- Cardenas, D.; F. Benavides: "Efecto del hongo *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson sobre el nemátodo de agalla *Meloidogyne incognita*

- Chitwood del melón (*Cucumis melo* Linn.) y la sandía (*Citroulus vulgaris* Schrad.) en una zona del municipio de Taminango, Nariño". Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto, pp. 109, México, 2006.
- Christie J.; V. G. Perry: "Removing nematodes from soil", Proceedings of the Helminthological Society of Washington, Vol. 18, no.2, pp. 106-108, USA, 1951.
- Farfán, M.: "Comportamiento del nemátodo del nódulo *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949, con 12 productos químicos" Facultad de Agronomía-Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 3 pp., 2011.
- Fernández B., G.: "Extracción, análisis, estabilidad y síntesis de Capsaicinoides", Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España, 6 pp., 2007.
- Gil R., A.; J. Chico-Ruiz: "Efecto del extracto de *Tagetes patula* L. sobre la nodulación radicular de *Cucurbita maxima* L. ocasionado por *Meloidogyne* sp., *Sagasteguiana*, 1(2):41-50, Perú, 2013.
- Giraldo, M. A.; T. Leguizamón: "Evaluación de *Paecilomyces lilacinus* para el control de *Meloidogyne* spp. en almácigos de café var. Caturra", *Fitopatología Colombiana*, 21(2): 104-117, Colombia, 1997.
- Hernández-Leal, T. I.; G. Carrión; G. Heredia: "Solubilización *in vitro* de fosfatos por una cepa de *Paecilomyces lilacinus* (Thom.) Samson", *Agrociencia* 45:881-892, México. 2011.
- Hidalgo, A. D.: "Actividad nematocida sobre *Meloidogyne hapla* de extractos acuosos de especies arbóreas y arbustivas de la zona sur de Chile". Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Chile, 2008.
- Linares, I.: "Control de *Meloidogyne* sp. en viveros de café (*Coffea arabica* L.) mediante el hongo *Paecilomyces lilacinus*". Tesis Ing. Agr. Salvador, Salvador, Universidad de El Salvador, 67 pp., El Salvador, 2009.
- Lora, D.; R. Betancourth: "Evaluación de los hongos *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Paecilomyces lilacinus*. en el control de *Meloidogyne* spp. en Lulo *Solanum quitoense* y tomate de árbol *Solanum betaceae*", Memorias, VI Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal, La Habana, Cuba, 2008.
- Ministerio de Agricultura, Dirección General de Competitividad Agraria: Pimiento piquillo, Disponible en: <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/organizaciones/dgca/pimiento-piquillo.pdf>. Perú. 2015.
- Monzón A.; I. Herrera; E. Méndez: "Uso y manejo de *Paecilomyces lilacinus* para el control de nematodos" Guía. Proyecto de Innovaciones Tecnológicas para el manejo ecológico de nemátodos, antracnosis y roya de café, PASA/DANIDA, Nicaragua, 2009.
- Nasr E.; P. Ansari: "The effects of *Paecilomyces lilacinus* on the pathogenesis of *Meloidogyne javanica* and tomato plant growth parameters", *Agricultural Research*, vol. 24, N° 2 and Vol. 25, N° 1, Irán, 2006.
- Rodríguez, Y.; T. Depestre; O. Gómez: "Obtención de líneas de pimiento (*Capsicum annum*) progenitoras de híbridos F1, resistentes a enfermedades virales, a partir del estudio de cuatro subpoblaciones", *Cien. Inv. Agr.* 34(3): 237-242, La Habana, Cuba, 2007.
- Ros-Ibáñez, C.; L. Robertson; M. Martínez-Lluch; A. Cano-García; A. Lacasa-Plasencia: "Development of virulence to *Meloidogyne incognita* on resistant pepper rootstocks", *Spanish Journal of Agricultural Research* 12(1): 225-232, España, 2014.
- Salazar G. C.; G. C. Betancourth; M. A. Castillo: "Efecto de controladores biológicos sobre el nemátodo *Meloidogyne* spp. en Lulo (*Solanum quitoense* Lam.)", *Revista de Ciencias Agrícolas* 29(2): 81-92, Colombia, 2012.
- Singh S. K.; M. Hodda; G. J. Ash; N. C. Banks: "Plant-parasitic nematodes as invasive species: characteristics, uncertainty and biosecurity implications", *Annals of Applied Biology*, England, 2013.
- Starr, I. L.; R. Cook; I. Bridge: *Plant Resistance to Parasitic Nematodes*, CAB International, pp. 1-36, England, 2002.
- Xiujuan, Y.; H. Xiujuan; Z. Liang: "Chitinasas of *Paecilomyces lilacinus* and studies on the biocontrol of plant parasitic nematodes", *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis* 22(1):86-89, China, 2000.

