

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Agronomía

Escuela Profesional de Agronomía



**EFICACIA DE LAS ABAMECTINAS EN EL CONTROL
DEL NEMATODO DE LAS AGALLAS RADICULARES**

***Meloidogyne* spp. EN CONDICIONES *in vitro* E
INVERNADERO**

TESIS

Presentada por:

Br. Liszt Herly Ludeña Abad

Línea de investigación: Nematodos Fitoparásitos

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Agrónomo**

Piura, Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Agronomía

Escuela Profesional de Agronomía

TESIS

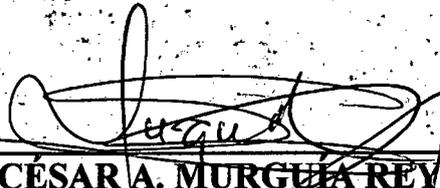
**EFICACIA DE LAS ABAMECTINAS EN EL CONTROL DEL
NEMATODO DE LAS AGALLAS RADICULARES *Meloidogyne* spp.
EN CONDICIONES *in vitro* E INVERNADERO**

Línea de investigación: Nematodos Fitoparásitos

Tesis presentada para optar el título de Ingeniero Agrónomo:



**Br. LISZT HERLY LUDENA ABAD
EJECUTOR**



**Dr. CÉSAR A. MURGUA REYES
ASESOR**

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

Yo: Liszt Herly Ludeña Abad identificado con CU 0202013067 y DNI N° 71119721 Bachiller de Escuela Profesional de Agronomía, de la Facultad de Agronomía y domiciliado en enace IV etapa Mz. M3 lote 9 del Distrito Veintiséis de octubre Provincia Piura Departamento Piura Celular: 944954263 Email: lizstherlyl@gmail.com

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N.º 411, del código Penal concordante con el Art. 32º de la Ley N° 27444, y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor. En fe de lo cual firmo la presente.

Piura del 2019



Liszt Herly Ludeña Abad
71119721

Artículo 411.- El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación con hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

Art. 4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales –RENATI Resolución de Consejo Directivo N.º 033-2016-SUNEDU/CD

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Agronomía

Escuela Profesional de Agronomía

TESIS

**EFICACIA DE LAS ABAMECTINAS EN EL CONTROL DEL
NEMATODO DE LAS AGALLAS RADICULARES *Meloidogyne* spp.
EN CONDICIONES *in vitro* E INVERNADERO**

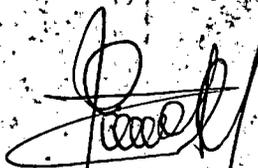
Línea de investigación: Nematodos Fitoparásitos

Tesis presentada para optar el título de Ingeniero Agrónomo:



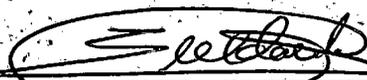
Ing. EDGAR R. RODRÍGUEZ GÁLVEZ.

PRESIDENTE



Ing. RENÉ AGUILAR ANCCOTA

VOCAL

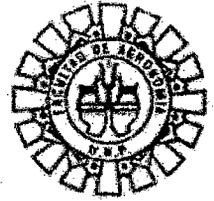


Ing. EDGAR A. MALDONADO DUQUE

SECRETARIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE AGRONOMÍA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
039-2019-UIFA-UNP

Los miembros del jurado calificador que suscriben, congregados para estudiar el trabajo de Tesis denominado "EFICACIA DE LAS ABAMECTINAS EN EL CONTROL DEL MATADO DE LAS AGALLAS RADICULARES *Meloidogyne spp.* EN CONDICIONES *in vitro* ETERNARIO", conducido por la BR. LIST HERLY LUDEÑA ABAD asesorado por el Dr. Cesar Murguía Reyes.

Luego de oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, la declaran PROBADA....., en consecuencia queda en condiciones de ser calificada APTA para sustentar ante el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo de conformidad con lo estipulado en el artículo N° 171, inciso 2° del Estatuto General de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 01 de Julio del 2019.

Dr. Edgar R. Rodríguez Gálvez
Presidente

Ing. René Aguilar Anccota
Vocal

Ing. Edgar A. Maldonado Duque
Secretario

DEDICATORIA:

A Dios por permitirme haber llegado hasta este punto de mi vida permitiendo que pueda alcanzar mis objetivos, además de brindarme infinita bondad, paz y amor.

A mis padres Abel e Irene por inculcarme su ejemplo, darme consejos y su incondicional apoyo siempre. Además de siempre creer en mí.

A mis hermanos que siempre me apoyaron y estuvieron conmigo en los mejores y peores momentos.

A mi novio Enzo que siempre me animó a seguir cumpliendo mis objetivos y estuvo a mi lado apoyándome todo el tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerza por superar obstáculos y dificultades.

A mi familia por su confianza y apoyo incondicional.

Al Dr. César Murguía expresarle mi más grande agradecimiento por su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración para la realización de esta tesis. Además de su paciencia.

A los profesores de la Facultad de Agronomía que me inculcaron los conocimientos necesarios para desarrollarme en mi vida profesional.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
I. ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA	2
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	2
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	4
2.2. BASES TEÓRICAS	4
2.2.1. <i>Meloidogyne</i> spp.	4
2.2.1.1. Ubicación taxonómica	4
2.2.2.2. Distribución y hospedantes	5
2.2.2.3. Ciclo de vida	5
2.2.2.4. Formas de reproducción	7
2.2.2.5. Factores del ambiente que afectan el desarrollo del nematodo	7
2.2.2.6. Sintomatología	8
2.2.2.7. Control químico	9
2.2.2.8. Control biológico	9
2.2.2.9. Enmiendas orgánicas	10
2.2.2.10. Compuestos fitoquímicos naturales	10
2.2.2. Abamectinas	11
2.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS	12
2.4. MARCO REFERENCIAL	13
2.5. HIPÓTESIS	13
2.5.1. Hipótesis general	13
2.5.2. Hipótesis específicas	14
III. MARCO METODOLÓGICO	14
3.1. ENFOQUE	14
3.2. DISEÑO	14
3.3. NIVEL	14
3.4. TIPO	14

3.5. SUJETOS DE LA INVESTIGACIÓN	14
3.6. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	15
3.6.1. Nematicidas químicos	15
3.6.2. Población de <i>Meloidogyne</i> spp.	15
3.6.3. Obtención de inóculo	15
3.6.4. Ensayos de toxicidad <i>in vitro</i>	15
3.6.5. Ensayos en invernadero	16
3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	17
3.7.1. Técnica de muestreo	17
3.7.2. Técnica de recolección de datos	17
3.7.3. Instrumento de recolección de datos	18
3.7.4. Diseño estadístico y análisis de datos	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
4.1. Ensayos <i>in vitro</i>	18
4.1.1. Acción nemastática	18
4.1.2. Acción nematicida	19
4.1.3. Efecto sobre la eclosión de huevos de <i>Meloidogyne</i> spp.	21
4.2. Ensayos de invernadero	22
V. CONCLUSIONES	26
VI. RECOMENDACIONES	27
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
ANEXOS	34

ÍNDICE DE CUADROS

- Cuadro 1.** Descripción de los nematicidas químicos evaluados para el control de *Meloidogyne* spp. en plantas de tomate en condiciones in vitro e invernadero. 15
- Cuadro 2.** Descripción de los productos comerciales que contienen como ingrediente activo Abamectina para el control de *Meloidogyne* spp. en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero. 17
- Cuadro 3.** Efecto de diferentes concentraciones de cuatro nematicidas comerciales (i.a. abamectinas) sobre la movilidad de J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después de la exposición en condiciones in vitro. 19
- Cuadro 4.** Efecto de diferentes concentraciones de abamectinas comerciales sobre la mortalidad de J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después del enjuague en agua en condiciones in vitro 19
- Cuadro 5.** Efecto de diferentes concentraciones de abamectinas comerciales sobre la eclosión de huevos de *Meloidogyne* spp. 10 días después de la incubación en condiciones in vitro. 21
- Cuadro 6.** Índice de agallamiento y número de huevos más juveniles de *Meloidogyne* spp en raíces de tomate *Solanum lycopersicum* var. Rio Grande tratadas con cuatro nematicidas en condiciones de invernadero 22
- Cuadro 7.** Parámetros de crecimiento en plántulas de tomate *Solanum lycopersicum* var. Rio Grande inoculadas con *Meloidogyne* spp. y tratadas con cuatro nematicidas en condiciones de invernadero 24

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Morfología del segundo estado juvenil de *Meloidogyne* spp. tratado con Abamectina. Las líneas indican una desintegración de los órganos internos. Fotos tomadas 48 horas después del tratamiento. 20
- Figura 2.** Plantas de tomate tratadas con diferentes abamectinas comerciales. A, Testigo inoculado, B, Mortero, C, Reglan y D, Reglan Plus. En el Testigo se observa mayor agallamiento y menor altura de planta. Foto tomada 45 días después de la inoculación con el nematodo. 23
- Figura 3.** Raíces de tomate tratadas con diferentes concentraciones de abamectinas comerciales. No observándose diferencias significativas entre los productos experimentados. Raíces con bajo nivel de agallamiento. Fotos tomados 45 días después. 25

ÍNDICE DE ANEXOS

- Cuadro 8.** Análisis de la varianza del efecto nemastático de los nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan Plus a una concentración del 0.5 mg/l sobre la movilidad de J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después de la exposición, en condiciones in vitro. 34
- Cuadro 9.** Análisis de varianza del efecto nemastático de cuatro nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una cconcentración del 1 mg/l sobre la movilidad de J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas de la exposición, en condiciones in vitro 34
- Cuadro 10.** Análisis de varianza del efecto nemastático de cuatro nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una cconcentración del 10 mg/l sobre la movilidad de J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas de la exposición, en condiciones in vitro. 34
- Cuadro 11.** Análisis de varianza del efecto nemastático de cuatro tratamientos Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una concentración del 25 mg/l sobre la movilidad de J2 de 35
- Cuadro 12.** Análisis de la varianza del efecto nematicida del Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan Plus a una concentración del 0.5 mg/l sobre J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después de lavados en agua, en condiciones in vitro. 35
- Cuadro 13.** Análisis de varianza del efecto nematicida del Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una concentración de 1 mg/l sobre J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después del lavado, en condiciones in vitro. 35
- Cuadro 14.** Análisis de varianza del efecto nematicida de Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus) a una concentración del 10 mg/l sobre J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después del lavado, en condiciones in vitro. 36
- Cuadro 15.** Análisis de varianza del efecto nematicida de Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una concentración del 25 mg/L sobre J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después del lavado, en condiciones in vitro. 36
- Cuadro 16.** Análisis de varianza del efecto nematicida de Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una concentración del 50 mg/L sobre J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después del lavado, en condiciones in vitro. 36
- Cuadro 17.** Análisis de varianza del efecto nematicida de Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una concentración del 75 mg/l sobre J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después del lavado, en condiciones in vitro. 37

- Cuadro 18.** Análisis de varianza del efecto nematicida de Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una concentración del 100 mg/l sobre J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después del lavado, en condiciones in vitro. 37
- Cuadro 19.** Análisis de la varianza del efecto de los nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan Plus a una concentración del 0.5 mg/l sobre la eclosión de huevos de *Meloidogyne* spp. 10 días después de la exposición, en condiciones in vitro. 37
- Cuadro 20.** Análisis de varianza del efecto de los nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una concentración del 1 mg/L sobre la eclosión de huevos de *Meloidogyne* spp. 10 días después de la exposición, en condiciones in vitro. 38
- Cuadro 21.** Análisis de varianza del efecto de cuatro nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una concentración del 10 mg/L sobre la eclosión de huevos de *Meloidogyne* spp. 10 días después de la exposición, en condiciones in vitro. 38
- Cuadro 22.** Análisis de la varianza del efecto de los nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan Plus sobre el índice de agallamiento de *Meloidogyne* spp en plantas de tomate, en condiciones de invernadero 38
- Cuadro 23.** Análisis de la varianza del efecto de los nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan Plus sobre el número de huevos + J2 de *Meloidogyne* spp en plantas de tomate, en condiciones de invernadero 39
- Cuadro 24.** Análisis de la varianza del efecto de los nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan Plus sobre el peso de raíces en plantas de tomate, en condiciones de invernadero 39
- Cuadro 25.** Análisis de varianza del efecto de los nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus sobre la longitud de raíces en plantas de tomate, en condiciones de invernadero. 39
- Cuadro 26.** Análisis de varianza del efecto de los nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus sobre el peso fresco aéreo en plantas de tomate, en condiciones de invernadero. 40
- Cuadro 27.** Análisis de varianza del efecto de los nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus sobre la longitud de planta, en plantas de tomate, en condiciones de invernadero. 40

RESUMEN

El "nematodo de agallas radiculares" *Meloidogyne* spp. es el principal patógeno de las raíces en los cultivos en la costa norte del Perú. El control de este nematodo está basado principalmente, en el uso de nematicidas químicos organofosforados y carbamatos, los cuales, están prohibidos o restringidos por su toxicidad al medio ambiente y al hombre. Por lo que, es importante evaluar nuevas alternativas que sean menos tóxicas. En la presente investigación se realizaron ensayos para determinar la toxicidad en condiciones *in vitro* de diferentes concentraciones de las abamectinas: Bamectín®, Reglan®, Reglan Plus® y Mortero®. En condiciones de invernadero se evaluó la eficacia de estos nematicidas aplicados al suelo en el control de *Meloidogyne* spp. y sus efectos sobre los principales parámetros de crecimiento en plantas de tomate. 24 h después de la exposición, los cuatro nematicidas causaron entre el 72.5 y 80 % de inmovilización del nematodo a la más baja concentración (0.5 mg/L). A mayores concentraciones la inmovilización se incrementó, a partir de los 25 mg/L se observó el 100% de inmovilización. 24 horas después de lavados en agua todos los nematicidas presentaron una significativa acción letal, a concentraciones mayores o iguales a 25 mg/l se superó el 75 % de mortandad del J2 de *Meloidogyne* spp. Asimismo, causaron un significativo efecto en la detección del desarrollo de los huevos del nematodo. A la mínima concentración (0.5 mg/l) se estimó que la eclosión se redujo en más del 78 %, respecto al Testigo. A partir de la concentración de 50 mg/l la eclosión de huevos se redujo al 100 % en los cuatro nematicidas. En condiciones de invernadero, los nematicidas suprimieron significativamente los índices de agallamiento y reproducción de *Meloidogyne* spp. en las plantas de tomate, no diferenciándose significativamente respecto al nematicida Vydate®. Las plantas tratadas con las abamectinas presentaron mayores valores de los parámetros de crecimiento con respecto al Testigo inoculado, diferenciándose significativamente.

Palabras claves: *Meloidogyne*, avermectinas, control.

ABSTRACT

The "root-knot nematode" *Meloidogyne* spp. is the main pathogen of roots in crops on the northern coast of Peru. The control of this nematode is based mainly on the use of organophosphorus chemical nematicides and carbamates, which are prohibited or restricted due to their toxicity to the environment and man. Therefore, it is important to evaluate new alternatives that are less toxic. In the present investigation tests were carried out to determine the toxicity under in vitro conditions of different concentrations of the abamectins: Bamectin®, Reglan®, Reglan Plus® and Mortar® and the effectiveness of these nematicides applied to the soil in the control of *Meloidogyne* spp. and its effects on the main parameters of growth in tomato plants, under greenhouse conditions. 24 h after the exposure, the four nematicides caused between 72.5 and 80% of immobilization of the nematode at the lowest concentration (0.5 mg / L). At higher concentrations the immobilization increased, from 25 mg / L 100% immobilization was observed. After 24 hours of washing in water, all the nematicides showed a significant lethal action, at concentrations greater than or equal to 25 mg / l, the lethal effect exceeded 75% of the mortality of *Meloidogyne* spp. They also caused a significant effect in detecting the development of *Meloidogyne* spp. At the minimum concentration (0.5 mg / l) it was estimated that the hatching was reduced by more than 78%, with respect to the control. From the 50 mg / l concentration the hatching of eggs was reduced to 100% in the four nematicides. Under greenhouse conditions, nematicides significantly suppressed the galling and reproduction rates of *Meloidogyne* spp. in tomato plants, not differing significantly from the Vydate® nematicide. The plants treated with the abamectins presented higher values of the growth parameters with respect to the inoculated control, differing significantly.

Key words: *Meloidogyne*, avermectins, control.

INTRODUCCIÓN

Las especies de *Meloidogyne* conocidos como los “nematodos formadores de nódulos o agallas radiculares” son endémicos y de gran importancia económica en las regiones tropicales y templadas calientes. En la costa del norte del Perú, *Meloidogyne* spp. son de gran virulencia en los cultivos de: caña de azúcar, vid, granado, espárrago, banano, pimientos y otros. La textura arenosa del suelo y las altas temperaturas calientes son factores muy favorables a estos nematodos, lo cual además complican su manejo. Oxamil, cadusaphos y ethoprop son nematicidas químicos no fumigantes muy tóxicos y contaminantes del medio ambiente que presentan severas restricciones y prohibiciones para su uso. Por lo tanto, es urgente y necesario evaluar nematicidas menos tóxicos para la supresión de nematodos, que sean igualmente efectivos, menos costosos y que no representen un peligro para la salud ambiental. En la presente investigación se determinó la toxicidad en condiciones *in vitro* de diferentes concentraciones de abamectinas contra *Meloidogyne* spp. y se evaluó la eficacia de varias formulaciones comerciales de abamectinas aplicadas al suelo en el control de *Meloidogyne* spp. en condiciones de invernadero. Bamectin®, Mortero®, Reglan® y Reglan Plus® a una concentración mínima de 5 mg/l inmovilizaron más del 72 % del segundo estado juvenil J2 de *Meloidogyne* spp. A concentraciones mayores o iguales a 25 mg/l, los cuatro nematicidas causaron más del 75 % de mortandad del J2, asimismo, causaron un significativo efecto en la detección del desarrollo de los huevos del nematodo, a concentraciones superiores de 50 mg/l se redujo el 100 % de la eclosión. En invernadero, las cuatro abamectinas suprimieron significativamente los índices de agallamiento y reproducción de *Meloidogyne* spp. en las plantas de tomate, no diferenciándose significativamente respecto al nematicida Vydate®. Es necesario, validar la eficacia de las abamectinas como nematicidas en condiciones de campo tanto en cultivos anuales como en perennes y potenciar su uso dentro de estrategias de manejo integrado de nematodos parásitos de plantas.

I. ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Se han descrito alrededor de 4100 especies de nematodos parásitos de plantas (Decraemer y Hunt, 2006), colectivamente representan una importante amenaza en la seguridad alimentaria mundial. Los daños causados por los nematodos de plantas se han estimado en \$US 80 billones por año (Nicol *et al.*, 2011). En todo el mundo se reconoce que las especies de *Meloidogyne* causan serias limitaciones en los sistemas intensivos de producción de cultivos. Cultivos perennes como los árboles frutales, café, banana, y uva; y muchos cultivos anuales (hortalizas) sufren serios daños económicos por los “nematodos de las agallas radiculares”. *Meloidogyne* spp. es mucho más dañino que otros nematodos parásitos debido a que: (i) los nematodos de las agallas radiculares se encuentran ampliamente distribuidos en el mundo; (ii) muchas especies producen varias generaciones por ciclo de cultivo y presentan alta fecundidad, (iii) muchas especies presentan un amplio rango de hospedantes. Las poblaciones de “nematodos de las agallas radiculares” mal manejadas reducen la producción y el vigor de los cultivos. Además, estresan a las plantas y las predisponen a la infección por otros patógenos, plagas y daños medioambientales que pueden causar incluso la muerte (Nyczepir y Thomas, 2009)

El crecimiento agroexportador de cultivos como la uva, arándanos, banana, palta, granado, espárrago, alcachofa y pimientos en la costa norte del Perú, se viene desarrollando sobre suelos arenosos y climas áridos, condiciones muy favorables para *Meloidogyne* spp. Prospecciones nematológicas en varios de estos cultivos confirman que las infestaciones por los “nematodos de las agallas radiculares” causan daños económicos en la producción.

Las estrategias de manejo de nematodos parásitos de las plantas siguen dependiendo de los nematicidas químicos, debido a la limitada disponibilidad de cultivares resistentes con alto potencial de rendimiento (Koenning *et al.*, 2004). Los métodos de control de nematodos incluyen la incorporación de materia orgánica (estiércol), el uso de nematicidas químicos y biológicos y la resistencia genética. La tendencia actual en sistemas agrícolas sostenibles es la reducción progresiva de los nematicidas químicos (organofosforados y carbamatos) debido a su efecto tóxico sobre la salud del medio ambiente y las personas, por tanto, es necesario evaluar nuevas alternativas menos tóxicas que puedan ser utilizadas en un programa de manejo integrado de nematodos con un enfoque sostenible donde se prioricen los factores ambientales.

1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Meloidogyne spp. conocidos como los “nematodos formadores de nódulos o agallas radiculares” son endémicos y de gran importancia económica en las regiones tropicales y templadas calientes. En la costa del norte del Perú, *Meloidogyne* spp. son de gran virulencia en los cultivos de: caña de azúcar, vid, granado, espárrago, banano, pimientos y otros. La textura arenosa del suelo y las altas temperaturas calientes son factores muy favorables a estos nematodos, lo cual además complican su manejo. Oxamil, cadusaphos y ethoprop son nematicidas químicos no fumigantes muy tóxicos y contaminantes del medio ambiente que presentan severas restricciones y prohibiciones para su uso (Zasada *et al.*, 2010). Por lo tanto, es urgente y necesario evaluar nematicidas menos tóxicos para la supresión de nematodos, que sean igualmente efectivos, menos costosos y que no representen un peligro para la salud ambiental. En la presente investigación se evaluaron en condiciones *in vitro* y de invernadero el potencial biológico de las abamectinas en el control de *Meloidogyne* spp.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

a. Evaluar la eficacia nematicida de las abamectinas en el control del “nematodo de las agallas radiculares” *Meloidogyne* spp. y determinar sus efectos sobre los principales parámetros de crecimiento en plantas de tomate, en condiciones *in vitro* y de invernadero.

1.3.2. Objetivos específicos

a. Determinar la toxicidad en condiciones *in vitro* de diferentes concentraciones de abamectinas contra *Meloidogyne* spp.

b. Evaluar la eficacia de varias formulaciones comerciales de abamectinas aplicadas al suelo en el control de *Meloidogyne* spp. y estimar sus efectos sobre los principales parámetros de crecimiento en plantas de tomate, en condiciones de invernadero.

1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Nematología e invernadero del Departamento de Sanidad Vegetal de la Facultad de Agronomía. El trabajo se inició en setiembre de 2018 y culminó en enero de 2019.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Abamectina es una mezcla 4:1 de avermectinas B_{1a} y B_{1b} (Roberts y Hutson 1999). Las avermectinas son lactones macro cíclicos derivados del micelio de la actinobacteria Gram positiva *Streptomyces avermitilis* (familia Streptomycetaceae, clase Actinobacteria) (Stretton *et al.*, 1987).

La familia de las lactonas macrocíclicas se descubrieron a mediados de la década de 1970 como un resultado del esfuerzo para evaluar productos naturales con propiedades antihelmínticas (Lasota y Dybas, 1991). Las lactonas macrocíclicas ejercen una acción selectiva sobre canales de glutamato-cloruro (Glu-Cl) ubicados en las estructuras neuronales del nematodo. A consecuencia de la interacción entre las lactonas macrocíclicas y sus receptores, se produce inhibición del bombeo faríngeo (y con ello se inhibe la ingestión de alimento), de la motilidad y la fecundidad de los nematodos parásitos (Jansson y Dybas, 1998). Las abamectinas se han evaluado para el control de nematodos fitoparásitos en aplicaciones al suelo, inyecciones al tallo, sumersión de raíces y bulbos y aspersiones foliares en varios cultivos (Sasser *et al.*, 1982; Garabedian y Van Gundy, 1983; Nordmeyer y Dickson, 1985; Cayrol *et al.*, 1993; Roberts y Matthews, 1995; Jansson y Rabatin, 1997, 1998).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. *Meloidogyne* spp.

El género *Meloidogyne* Goeldi, 1892 (Nematoda: Heteroderidae) comprende a un grupo de nematodos parásitos de plantas de amplia distribución en el mundo, son polípagos y endoparásitos de raíces, se conocen como los “nematodos del nudo o agallas radiculares”. Se han descrito más de 100 especies validas, pero se considera que cuatro son las especies importantes y destructivas que causan el 90 % del daño estimado en el mundo (Sasser, 1980; Eisenback *et al.*, 1981; Siddiqi, 2000).

2.2.1.1. Ubicación taxonómica

El género *Meloidogyne* Goeldi 1892, pertenece a la superfamilia Tylenchoidea, familia Heteroderidae y subfamilia Meloidogyninae (Maggenti, 1988).

2.2.2.2. Distribución y hospedantes

Meloidogyne spp. son parásitos obligados con una amplia distribución geográfica y rango de hospedantes. Tienen la capacidad de infectar raíces de numerosas plantas que comprende más de 3.000 especies vegetales (Abad *et al.*, 2003), en general son polífagas. *M. incógnita*, *M. arenaria*, *M. javanica* y *M. hapla* son las especies generalizadas que representan el 95 % de los nematodos formadores de agallas radiculares. Las primeras tres especies son de regiones tropicales y templadas, mientras que *M. hapla* se encuentra en climas fríos (Lamberti, 1979).

2.2.2.3. Ciclo de vida

Los huevos de *Meloidogyne* spp., se encuentran inmersos en una masa gelatinosa compuestas por glicoproteínas, la cual los mantiene juntos y los protege de las condiciones ambientales extremas y de los depredadores. También se les atribuye propiedades antimicrobianas. Generalmente, están depositadas en la superficie de los nódulos, pero algunas veces se encuentran directamente sobre la superficie o dentro del tejido de la raíz de la planta hospedante. La masa de huevos es inicialmente suave, pegajosa y hialina, pero se hace más firme y de color marrón oscuro con el tiempo (Moens *et al.*, 2009). Se pueden encontrar más de 1000 huevos en una masa, puede ser más grande que el cuerpo de la hembra (Taylor y Sasser, 1983).

El desarrollo del huevo comienza breves horas después de la ovoposición, resultando en 2, 4, 8, 16 a más células, hasta que se ve el primer estado juvenil completamente formado, enrollado y con un estilete. Se puede mover dentro del huevo, pero no es muy activo. La primera muda tiene lugar en el huevo y no es difícil distinguir la cutícula del primer estado juvenil, sobresaliendo más allá de la cabeza del segundo estado juvenil (J2). Poco después, este emerge rompiendo la membrana flexible del huevo, por medio de pinchazos repetidos con el estilete. La eclosión de los huevos es influenciada por la temperatura y ocurre sin requerir ningún estímulo por parte de la raíz de la planta, sin embargo, los exudados radiculares algunas veces estimulan la eclosión (Taylor y Sasser, 1983; Karssen y Moens, 2006).

El J2 que ha emergido, se mueve a través del suelo en busca de una raíz de la que pueda alimentarse. Su capacidad de sobrevivir se ve reforzada por varias adaptaciones fisiológicas y bioquímicas, incluyendo la quiescencia y la diapausa, y las reservas de lípidos que prolongan su viabilidad hasta que llega e invade la planta hospedante (Moens *et al.*, 2009). La búsqueda de la raíz es al azar hasta que se acerca a unos cuantos centímetros para ser atraídos por los exudados radiculares, se acumulan y penetran la raíz por la zona de elongación debajo del punto de crecimiento. Se considera que el dióxido de carbono (CO₂) es el factor más importante para atraer

a los juveniles de segundo estado (Taylor y Sasser, 1983; Hussey y Janssen, 2001; Karssen y Moens, 2006). El nematodo avanza hasta el tejido cortical y una vez allí la migración continúa intercelularmente hasta llegar al cilindro vascular en diferenciación. El avance a través del espacio intercelular se realiza recurriendo a la separación de la laminilla media por medios mecánicos a través de golpes de estilete, sin haberse precisado hasta la fecha si también concurren mecanismos enzimáticos en el proceso. J2 establece su sitio permanente de alimentación una vez que alcanza el cilindro vascular (Hussey y Williamson, 1998). Este sitio consiste en un conjunto de grandes células modificadas llamadas células gigantes, caracterizadas por la presencia de muchos núcleos de gran tamaño, altamente lobulados, con nucléolos prominentes, un alto número de orgánulos, citoplasma denso con altas tasas metabólicas y paredes engrosadas e invaginadas. Los nematodos absorben los nutrientes del citoplasma directamente o a través de tubos de alimentación sintetizados con tal propósito mediante las secreciones procedentes de las glándulas subesofágicas dorsales (Hussey y Mims, 1991).

Varios estudios han documentado los efectos de la infección por nematodos en la expresión génica. Algunos estudios en las células gigantes han revelado que el ARNm de algunos genes puede estar presente en niveles muchas veces mayor que en células de una raíz no infectada (Ramsey *et al.*, 2004; He *et al.*, 2005). También se ha reportado que se incrementa los niveles de enzimas oxidoreductasas, indicando un aumento en la actividad metabólica (Hussey y Janssen, 2001; Karssen y Moens, 2006).

Meloidogyne secreta a través de su cutícula enzimas antioxidantes que son producidas en la hipodermis y protegen al nematodo de la respuesta oxidativa del hospedante frente a la infección. Las proteínas producidas y secretadas por las células de las glándulas esofágicas dentro de la planta hospedante por medio del estilete son señales moleculares que desencadenan la activación de rutas de señalización, que conducen a la supresión de la defensa del hospedante y a la inducción de células gigantes (Abad *et al.*, 2009). Mientras se están formando las células gigantes y los nódulos, aumenta el ancho del nematodo y hay una dilatación considerable de las glándulas esofágicas. Las células del primordio genital se dividen y éste se agranda haciéndose notorio, dos ramificaciones en la hembra o formando un cuerpo alargado en el macho (Taylor y Sasser, 1983).

Cuando se completan la segunda y tercera muda en la hembra, evidenciadas por las dos cutículas desprendidas, el estilete y el bulbo esofágico medio desaparecen. Poco después de la cuarta muda el estilete y el bulbo medio son regenerados, se forman el útero, la vagina y el patrón perineal se hace visible. La hembra de la cuarta etapa continúa aumentando de grosor y un poco más de longitud, sufriendo la última muda y desarrollándose como hembra adulta, de

forma piriforme. Las hembras pueden producir huevos por dos a tres meses y viven algún tiempo más después de que cesa la producción de huevos. El ciclo termina cuando la hembra pone su primer huevo (Taylor y Sasser, 1983).

En el macho, después de la segunda y tercera muda, el estilete no es visible, el bulbo esofágico medio se ha degenerado y sólo la gónada se ha alargado. Luego ocurre una rápida metamorfosis, el cuerpo alargado se desarrolla dentro de la cutícula, con estilete, esófago con bulbo medio, espículas y esperma en los testículos. El macho de la cuarta etapa es vermiforme y sufre una última muda y emerge de la raíz ya como adulto. No hay evidencia de alimentación por parte de machos adultos y pueden ser encontrados en especies partenogénicas cuando las condiciones son desfavorables para el desarrollo de la hembra, por ejemplo, cuando las densidades son muy altas y hay una limitación del suministro de alimentos. Los machos probablemente viven sólo semanas (Taylor y Sasser, 1983; Moens *et al.*, 2009).

El ciclo de vida dura entre 3 a 4 semanas en hospedantes susceptibles y en suelos con 25 a 30 °C. Masas de huevos sobreviven al estrés por humedad y las raíces infectadas podrían conservar nematodos en reproducción por largos períodos después de la cosecha (Dropkin, 1980).

2.2.2.4. Formas de reproducción

Existen tres tipos de reproducción dentro del género *Meloidogyne*: (a) anfimixis, en el cual el esperma de los machos fertiliza los ovocitos en las hembras y posteriormente se produce una meiosis, (b) partenogénesis meiótica facultativa, en el cual en presencia de machos se produce una anfimixis, pero en su ausencia, se lleva a cabo una meiosis en los ovocitos, con dos de sus núcleos, con una reducción de complemento cromosómico (el pronúcleo y el segundo cuerpo polar), posteriormente se fusionan (automixis), y (c) partenogénesis mitótica obligada, donde los machos no están involucrados y uno de los dos núcleos producidos durante la división mitótica inicial dentro del ovocito se deteriora y el otro se convierte en el precursor del embrión posterior (apomixis) (Chitwood y Perry, 2009). El modo de reproducción apomítico se encuentra en las especies más importantes en cuanto a su distribución geográfica e impacto agronómico.

2.2.2.5 Factores del ambiente que afectan el desarrollo del nematodo

La temperatura, la humedad, la porosidad del suelo, la disponibilidad de oxígeno y la presencia de toxinas pueden limitar o detener el movimiento, el desarrollo y la eclosión de huevos de los “nematodos agalladores de la raíz” (Curtis *et al.*, 2009; Evans y Perry, 2009).

La temperatura no sólo afecta la tasa de multiplicación del nematodo sino también su distribución, especialmente en relación con la capacidad de sobrevivir a los efectos de alta o baja temperatura. Dentro del género *Meloidogyne* hay dos grupos, termófilos y criófilos, según su capacidad de sobrevivir las transiciones de fase de lípidos que se producen a 10 °C. *M. chitwoodi*, *M. hapla* y *M. naasi* son criófilos y pueden sobrevivir en el suelo a temperaturas de hasta por debajo de 10 °C, mientras que *M. javanica*, *M. arenaria* y probablemente *M. exigua* son termófilos y no sobreviven en el suelo a temperaturas inferiores a 10 °C (Evans y Perry, 2009).

Wallace (1964), reconoció el papel esencial desempeñado por la humedad del suelo en la supervivencia y eclosión de los huevos de *Meloidogyne*. La sequía excesiva puede frenar o incluso matar al nematodo, igual ocurre con el encharcamiento prolongado que por falta de oxígeno en el suelo el nematodo es también afectado. Todos los juveniles de segundo estado requieren una película de agua de cierto grosor para su circulación en el suelo (Curtis *et al.*, 2009).

La textura del suelo es otro factor de importancia, la distribución y la severidad del ataque del nematodo dependen de ella. El daño y pérdidas de producción por “nematodos agalladores de la raíz” son generalmente más severos sobre suelos de textura arenosa (Wallace, 1964). En suelos pesados, la eclosión disminuye y el desplazamiento del nematodo se hace más lento.

2.2.2.6. Sintomatología

El daño que ocasionan a las plantas se debe principalmente a la alteración de los tejidos vasculares de la raíz, que reduce sustancialmente la absorción de nutrientes y agua, con el consiguiente debilitamiento de la planta y disminución del rendimiento (Orton Williams, 1973; Siddiqi, 2000; Abad, *et al.*, 2003). Además, los efectos negativos de *Meloidogyne* se agravan en algunas ocasiones por interacciones con otros patógenos. Los síntomas más comunes e indirectos son la reducción del crecimiento, clorosis del follaje, susceptibilidad al marchitamiento y menor producción de frutos. La mayoría de las especies de *Meloidogyne* inducen a la raíz infectada a engrosarse alrededor del punto donde el nematodo se está alimentando, formándose así el típico nódulo radicular. Los nódulos pueden presentarse simples, o varios de ellos coalescen para formar un conjunto masivo de nódulos. Algunas especies estimulan también a la planta a producir muchas raíces laterales que emergen de la agalla, lo que da por resultado un sistema radical compacto, anormalmente abundante y entrelazado. Aunque algunas especies producen un tipo característico de nodulación, la identificación de ellas no puede hacerse basándose solamente en estos síntomas radicales (Eisenback *et al.*, 1981). Las plantas con raíces carnosas, especialmente las cucurbitáceas y tomate, desarrollan nódulos fácilmente detectables, a pesar de la baja incidencia de infección (Luc *et al.*, 1990; Moens *et al.*, 2009). Cuando las plantas cultivadas son atacadas en estado de plántulas,

las pérdidas son extremadamente fuertes y puede presentarse una muerte prematura (Brust *et al.*, 2003).

2.2.2.7. Control químico

Los nematicidas químicos se han clasificado de acuerdo a su método de aplicación en dos grandes grupos, los fumigantes y los no fumigantes. Éstos últimos en diversas situaciones han demostrado menor eficacia que los fumigantes, y tienen su actividad nematicida fundamentalmente sobre los estadios activos de los nematodos, pero no sobre huevos, retrasando su eclosión. Los no fumigantes no son tan fitotóxicos como los fumigantes, por lo que en muchas ocasiones sólo se pueden usar en postplantación (Haydock *et al.*, 2006; Díez-Rojo *et al.*, 2010). Los fumigantes utilizados y permitidos en la actualidad incluyen las mezclas de 1,3-D (1,3-dichloropropano), generadores de isotiocianato de metilo (metam sodio, metam potasio y dazomet), tetratiocarbonato de sodio que libera disulfuro de carbono y el yoduro de metilo. En un principio los metam ya sea el sódico o el potásico, así como el dazomet no son fumigantes, pero tras su aplicación en el suelo desprenden metilisotiocianato (Nyczepir y Thomas, 2009). Los nematicidas no fumigantes no son supresivos a poblaciones de nematodos como los fumigantes debido a que no presentan una actividad de amplio espectro (Luc *et al.*, 2005). Se formulan como materiales granulados y líquidos, aquí se incluyen a productos como el aldicarb, oxamyl, ethoprop/ethoprophos, fenamiphos, carbofuran, fosthiazate y terbufos, todos ellos tienen al menos una eficacia moderada contra *Meloidogynespp.* en condiciones de campo e invernadero. A su vez los no fumigantes se dividen en dos grupos clases químicas los organofosforados y los carbamatos. Ambas clases son considerados nemastáticos, ebido a que su efecto es reversible, y no nematicida. Actúan inhibiendo la acetilcolinesterasa (Opperman y Chang, 1990; Haydock *et al.*, 2006).

2.2.2.8. Control biológico

Varias alternativas no químicas pueden utilizarse para el manejo de nematodos parásitos de plantas. Sin embargo, algunos métodos no químicos no son efectivos cuando son usados solos, por lo que la integración de métodos es necesaria para lograr un manejo óptimo del nematodo, particularmente en un sistema sustentable (Roberts, 1993; Noling y Becker, 1994). Aplicaciones de enmiendas orgánicas y la rotación de cultivos se han evaluado para el manejo de nematodos (Muller y Gooch, 1982; Rodríguez-Kábana, 1986; Trivedi y Barker, 1986), aunque los resultados han sido inconsistentes (McSorley y Gallaher, 1995). El control biológico es una alternativa de manejo de poblaciones de nematodos a través de diferentes mecanismos: parasitismo, predación, competencia y antibiosis. Numerosos organismos del suelo atacan a los nematodos fitoparásitos, entre ellos los hongos y bacterias son los más conocidos, aunque también los protozoos, insectos, ácaros y

nematodos depredadores ejercen regulación bajo diferentes condiciones del ecosistema (Rodríguez-Kabana *et al.*, 1984). Los hongos que infectan huevos o hembras de fitonematodos han sido clasificados como patógenos facultativos o hongos oportunistas facultativos (Sikora, 1992). Estos hongos no dependen de los nematodos para su proliferación sino de la rizosfera que contiene los exudados de raíces y material orgánico.

2.2.2.9. Enmiendas orgánicas

Una enmienda orgánica es cualquier material de origen animal o vegetal que se añade al suelo. Entre estos materiales se pueden incluir los compost, los residuos de cosechas anteriores, estiércol animal, desperdicios agroindustriales y municipales, entre otros. La aplicación de material orgánico como enmienda, afecta directa o indirectamente las poblaciones y la diversidad de nematodos en el suelo. De forma directa, este material libera compuestos nematicidas en su descomposición o que son sintetizados por microorganismos envueltos en su descomposición, proveyendo un ambiente favorable para el crecimiento de microorganismos antagónicos o parasíticos a los fitonematodos. De manera indirecta, puede incrementar el desarrollo y rendimiento de una planta infestada con nematodos, mejora la estructura del suelo, aumentando su potencial de retención de agua y suple nutrientes en los suelos deficientes (Chavarría-Carvajal y Rodríguez-Kábana, 1998; Widmer *et al.*, 2002).

Análisis químicos y toxicológicos de excrementos de aves y ganado han determinado que las propiedades nematódicas de estas enmiendas se debe a que durante su descomposición liberan ácido acético, propiónico, butírico, gases fermentados y fenoles (Badra *et al.*, 1979). La adición de materia orgánica al suelo estimula la actividad microbiana al incrementarse las poblaciones de actinomicetes, algas, bacterias, hongos y nematodos microbívoros. La proliferación de microorganismos aumenta la actividad enzimática de los suelos enmendados y la acumulación de compuestos específicos que tienen propiedades nematicidas.

2.2.2.10 Compuestos fitoquímicos naturales

Las plantas superiores producen un amplio espectro de compuestos activos, incluyendo los polytienilos, isothiocianatos, glucosinolatos, glycosidos cyanogénicos, polyacetilenos, alkaloides, lípidos, terpenoides, sesquiterpenoides, diterpenoides, quassinoides, esteroides, triterpenoides, compuestos fenólicos simples y complejos (Chitwood, 2002). Estos compuestos son metabolitos secundarios que por lo general no son parte del metabolismo básico de la planta y están relacionados a los componentes estructurales y mecanismos de defensa (Engel *et al.*, 2002). Extractos de plantas

antagonistas han demostrado acción nemastática y nematocida bastante eficaces en el control de estos patógenos (Walla *et al.*, 1999).

Recientemente, Meyer *et al.* (2016), demostraron la eficacia *in vitro* de los extractos de la cáscara seca de la granada (*Punica granatum*) y de las hojas de la rosa de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) contra *M. incognita*. Ambos extractos inhibieron la eclosión de los huevos y la viabilidad de los juveniles de segundo estadio (J2). Dependiendo de la concentración del extracto, se observó un efecto nemastático sobre los J2 de *M. incognita*.

2.2.2. Abamectinas

Las abamectinas son lactonas macrocíclicas derivadas de la actinobacteria *Streptomyces avermitilis*, es un pesticida biológico que tiene una alta actividad nematocida para controlar muchos nematodos parásitos de plantas, pueden aplicarse mediante pulverización o directamente al suelo (Cabrera *et al.*, 2013). Las avermectinas representan una nueva clase de lactonas macrocíclicas las cuales han demostrado actividad nematocida, acaricida e insecticida, son una mezcla de productos naturales producidos por el actinomiceto del suelo *Streptomyces avermitilis*. El descubrimiento de las avermectinas fue en 1967. *S. avermitilis* Burg produce lactonas macrocíclicas llamadas avermectinas, consideradas potentes nematocidas. Por ejemplo, la Abamectina B1 actualmente es comercializada como tratamiento a la semilla de algodón y hortalizas contra un amplio espectro de nematodos parásitos de plantas. El producto se mueve de la semilla tratada a lo largo de las raíces en desarrollo, protegiendo así a las plantas de la infección del nematodo (Hallmann *et al.*, 2007). La Abamectina tiene una rápida degradación y su vida media es de 20 a 47 días. Los metabolitos de lactonas macrocíclicas provocan una parálisis irreversible (Chen *et al.*, 2006). La abamectina se degrada fácilmente en el ecosistema y la concentración del ingrediente activo en las formulaciones comerciales es muy bajo (Zhang *et al.*, 2017).

2.2.2.1. Modo de acción de las abamectinas

La forma de actuar de las avermectinas es bloqueando el neurotransmisor ácido Gama-aminobutírico (GABA) en la unión neuromuscular de insectos y ácaros. La actividad visible, tal como alimentarse o poner huevos se detiene pronto después de la exposición, aunque la muerte puede no sobrevenir por varios días (Ware y Whitacre, 2004)

Las avermectinas tienen dos sitios de acción que difieren en su ubicación y propiedades farmacológicas (Stretton *et al.*, 1987). El compuesto actúa en múltiples sitios dependiendo de (i) el microorganismo, (ii) las diferentes sensibilidades de los microbios seleccionados y (iii) la solubilidad

(Turner y Schaeffer 1989). En el primer modo de acción, existe una correlación entre los loci sensibles a la abamectina y la presencia de mecanismos sensibles al ácido c-aminobutírico (GABA) que implican el intercambio de permeabilidad al cloruro (Stretton *et al.*, 1987). Por lo tanto, las avermectinas son antagonistas del ácido a-aminobutírico en nematodos. En el segundo modo de acción, las avermectinas estimulan la liberación de GABA a partir de terminales inhibidores presinápticos (Kass *et al.*, 1984). Ambos modos de acción difieren de los nematicidas no fumigantes conocidos previamente que inhiben la acetilcolinesterasa (Garabedian y Van Gundy 1983, Bunt 1987, Turner y Schaeffer 1989).

La respuesta del nematodo a las avermectinas es trifásica (Wright *et al.*, 1983). Los nematodos expuestos a avermectinas durante 10 min se inactivan, pero pueden recuperarse parcialmente dentro de los 30 min de la interrupción de la exposición. Después de 120 minutos de exposición a las avermectinas, se obtiene una pérdida irreversible del movimiento. Las avermectinas también reducen la eclosión de los huevos (Cayrol *et al.*, 1993) y disminuyen la absorción de oxígeno de los nematodos juveniles (Nordmeyer y Dickson 1981). Con base en estos informes, las avermectinas afectan el movimiento y el comportamiento de *Meloidogyne* spp.

2.2.2.2. Efectos del medio ambiente en las abamectinas

Las avermectinas no se hidrolizan fácilmente porque son sustancias altamente lipofílicas que se disuelven en la mayoría de los disolventes orgánicos, pero su solubilidad en agua es relativamente baja (Fisher y Mrozik 1989). En suelos con pH entre 5 y 9, la vida media de las avermectinas varía entre 20 a 47 días, degradándose en al menos 13 productos diferentes. Las avermectinas se degradan en medioambientes acuáticos y terrestres, y no son fitotóxicas, lo que resulta en una reducida acumulación y persistencia (Wislocki *et al.*, 1989).

2.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

Abamectina: es una mezcla de avermectinas que contiene más del 80% de avermectina B1a y el resto de avermectina B1b. Estos dos compuestos B1a y B1b tienen unas propiedades toxicológicas parecidas.

Agalla: es el resultado final de una célula multinucleada formada por la alimentación del nematodo después de la penetración en la cual se observa más de dos núcleos. Al formarse estas células gigantes, se bloquean los vasos del xilema e inducen la multiplicación de células corticales, que aumentan tanto en tamaño como en número, produciéndose entonces una agalla o nódulo en la raíz. El tamaño de la agalla está relacionado con la planta hospedante, el número de juveniles de segundo estado y la especie de nematodo.

Endoparásito: Parásito que vive dentro del cuerpo de su hospedante.

Enfermedad: mal funcionamiento de las células y tejidos del hospedante debido al efecto continuo sobre estos últimos de un organismo patógeno o factor ambiental que origina la aparición de los síntomas.

Fitoparásito: organismo que se asocia de manera estrecha con una planta y que se reproduce o desarrolla a expensas de ella.

Hospedante: organismo que alberga a otro en su interior o lo porta sobre sí, ya sea en una simbiosis de parásito, un comensal o un mutualista.

Inóculo: estructura del patógeno capaz de llegar a la planta y producir infección.

Lactonas: también conocidas como endectocidas, derivadas de productos naturales obtenidos por fermentación de organismos del suelo del género *Streptomyces*.

Nematicida: plaguicida químico utilizado para matar nematodos que parasitan a las plantas.

Nematodo fitoparásito: nematodos que tienen un estilete, que tiene la habilidad de punzar y succionar los líquidos de las células vegetales para alimentarse.

Nemastático: nematicida químico que al ser usado no llega a causar la muerte inmediata del nematodo.

Parásito: organismo que vive fuera o dentro de otro organismo, del cual obtiene su alimento.

Parásito obligado: organismo biotrófo que sólo crece y se reproduce en un hospedante vivo.

Polífago: conjunto de organismos que poseen una alimentación variada. Estos organismos se pueden nutrir, a la vez, de especies vegetales y de especies animales.

Sedentario: que permanece siempre en el mismo lugar. Adjetivo que apunta a todos aquellos seres vivos de pocos movimientos.

Partenogénesis: Forma de reproducción sin la participación del macho. El ovulo tiene la capacidad de desarrollarse sin haber sido fecundado.

Vermiforme: es un adjetivo utilizado para caracterizar seres vivos o estructuras que tienen forma parecida a un gusano.

2.4. MARCO REFERENCIAL

2.5. HIPÓTESIS

2.5.1. Hipótesis general

a. Las abamectinas son nematicidas que controlan el “nematodo de las agallas radiculares” *Meloidogyne* spp. y tienen efectos sobre el crecimiento de plantas de tomate, en condiciones *in vitro* e invernadero.

2.5.2. Hipótesis específicas

- a. Diferentes concentraciones de abamectinas son tóxicas a *Meloidogyne* spp. en condiciones *in vitro*.
- b. Diferentes formulaciones comerciales de abamectinas aplicadas al suelo controlan a *Meloidogyne* spp. y producen efectos en el crecimiento de plantas de tomate, en condiciones de invernadero.

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. ENFOQUE

Tipo cuantitativo

3.2 DISEÑO

Es un tipo de estudio cuantitativo experimental.

3.3 NIVEL

Explicativo-causal.

3.4. TIPO

Básica/aplicada.

3.5. SUJETOS DE LA INVESTIGACIÓN

En condiciones *in vitro* se estimaron los porcentajes de mortalidad de juveniles en segundo estadio J2 e inhibición de la eclosión de huevos de *Meloidogyne* spp.

En condiciones de invernadero se cuantificó los niveles de poblaciones de huevos y J2 de *Meloidogyne* spp., se estimaron los niveles de agallamiento en las raíces infestadas. Se determinaron los valores de los diferentes parámetros de crecimiento en plantas de tomate.

3.6. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

3.6.1. Nematicidas químicos

Cuadro 1. Descripción de los nematicidas químicos evaluados para el control de *Meloidogyne* spp. en plantas de tomate en condiciones *in vitro* e invernadero.

Nombre comercial	Ingrediente activo (i. a)	Formulador	Distribuidor
Bamectin®	1.8% abamectina	Nova Crop Protection CO. LTD f	Silvestre Perú SAC
Reglan®	2% Emamectin benzoato y 2% Abamectina	Montana S.A	Montana S.A
Reglan Plus®	7.5% Emamectin benzoato y 7.5% Abamectina	Montana S.A	Montana S.A
Mortero®	2% Abamectina	Montana S.A	Montana S.A

3.6.2. Población de *Meloidogyne* spp.

En este estudio se utilizó una población de *Meloidogyne* spp. originalmente aislada de raíces de vid procedente del valle de Cieneguillo, Piura. La población se mantiene bajo condiciones de invernadero en plantas de tomate *Solanum lycopersicum* cv Río Grande.

3.6.3. Obtención de inóculo

La obtención de huevos y J2 del nematodo para los ensayos *in vitro* e invernadero se extrajeron de masa de huevos de raíces agalladas de tomate de 45 días de edad con 0.5% hipoclorito de sodio NaOCl (Hussey y Barker, 1973). Los huevos extraídos se incubaron en placas de vidrio por 5 días para obtener los J2.

3.6.4. Ensayos de toxicidad *in vitro*

Se evaluaron las siguientes concentraciones de Abamectina: 0.5, 1, 10, 25, 50, 75 y 100 mg i. a./l, las que se prepararon en agua destilada. Se utilizó como testigo absoluto agua destilada.

Las pruebas de toxicidad se realizaron en microtubos de plástico eppendorf, cada tubo recibió 300 µl de 2X de cada concentración, a los cuales se agregaron 50 huevos o 50 J2 del nematodo en 300 µl de agua destilada. Cada tratamiento se repitió por 4 veces. Después de 24 horas de exposición se evaluó el porcentaje de J2 inmovilizados mediante la observación directa del movimiento o reacción a un pequeño estímulo con una aguja. Para determinar el efecto letal (tóxico), los nematodos

inmovilizados se enjuagaron en agua destilada por 24 horas. Se aplicó la fórmula de Schneider- Orelli para estimar la mortalidad ajustada del J2:

$$\% \text{ mortalidad ajustada} = 100 \times \frac{[(\% \text{ mortalidad tratamiento} - \% \text{ mortalidad control})]}{(100 - \% \text{ mortalidad control})}$$

La evaluación de la eclosión de huevos directamente expuestos se realizó 10 días después de la exposición. El porcentaje de J2 eclosionados se calculó en relación con el testigo (sólo agua).

Todo el material del ensayo se mantuvo a temperatura ambiente y bajo oscuridad.

3.6.5. Ensayos en invernadero

3.6.5.1. Plantas de tomate

En este ensayo se utilizó como hospedante susceptible, plantas de tomate *S. lycopersicum* cv Río Grande. Se sembraron semillas en bandejas de germinación conteniendo turba esterilizada, después de la germinación las plantas se mantuvieron en crecimiento por un período 15 días. Luego, se trasplantó a macetas plásticas de 1400 cm³ conteniendo una mezcla de arena fina + arena gruesa + turba (partes proporcionales) esterilizada.

3.6.5.2. Descripción de tratamientos e inoculación del nematodo

Se evaluaron diferentes formulaciones y dosis comerciales de abamectinas (Cuadro 2). Durante el día 0 se aplicó vía drench las dosis de los tratamientos, 24 horas después cada planta se inoculó con 5000 huevos + J2 de *Meloidogyne* spp. Los nematicidas y el inóculo se aplicaron en anillo alrededor del tallo de planta. Las plantas se mantuvieron bajo condiciones de invernadero por un período de 45 días, se regaron y fertilizaron cada siete días con NPK (20-10-20) balanceado y soluble en agua.

Cuadro 2. Descripción de los productos comerciales que contienen como ingrediente activo Abamectina para el control de *Meloidogyne* spp. en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	Ingrediente activo	Dosis comercial l / ha	Dosis / sustrato (μ l)
Bamectín	Abamectina	2	3.9
Bamectín	Abamectina	4	7.7
Bamectín	Abamectina	5	9.6
Reglan	Abamectina + emamectin benzoato	4	7.7
Reglan Plus	Abamectina + emamectin benzoato	1	1.9
Mortero	Abamectina	4	7.7
Vydate	Oxamilo	5	9.6
Testigo	Con inóculo	--	--
Testigo	Sin inóculo	--	--

3.6.5.3. Observaciones experimentales

Se evaluó el índice de agallamiento de acuerdo a la escala de Taylor y Sasser (1978) considerando los siguientes niveles de agallamiento: Grado 0: ausencia de nódulos y/o masas de huevos. Grado 1: 1-2 nódulos o masas de huevos. Grado 2: 3 a 10 nódulos o masas de huevos. Grado 3: 11 a 30 nódulos o masas de huevos. Grado 4: 31 a 100 nódulos o masas de huevos. Grado 5: Más de 100 nódulos o masas de huevos. Se cuantificó el número de huevos + J2 por planta mediante el método trituración-centrifugación (Coolen y D'Herde, 1972). Se determinó la altura de planta, longitud y peso fresco de raíces y área foliar.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.7.1. Técnica de muestreo

Muestreo aleatorio sistemático.

3.7.2. Técnica de recolección de datos

De laboratorio e invernadero.

3.7.3. Instrumento de recolección de datos

Observación y cuantificación

3.7.4. Diseño estadístico y análisis de datos

En los ensayos *in vitro* se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) con siete concentraciones (tratamientos) repetidas por 4 veces cada una. Los datos se sometieron a un análisis de la varianza (ANVA) utilizándose el software Statgraphics Plus 5.0. Para estimar las diferencias significativas entre las concentraciones se realizó un análisis estadístico mediante la prueba Tukey.

En los ensayos de invernadero se aplicó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con 9 tratamientos repetidos por cinco veces. Los datos se sometieron a un análisis de la varianza (ANVA) utilizándose el software Statgraphics Plus 5.0. Para estimar las diferencias significativas entre las concentraciones se realizó un análisis estadístico mediante la prueba Tukey

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Ensayos *in vitro*

4.1.1. Acción nemastática

24 h después de la exposición, los cuatro nematicidas causaron entre el 72.5 y 80 % de inmovilización del nematodo a la concentración de 0.5 mg/l, no diferenciándose significativamente entre ellos. Un ligero incremento en el porcentaje de nematodos inmovilizados se estimó a las concentraciones del 1 y 10 mg/l de los nematicidas, no observándose diferencias significativas. A partir de la concentración de 25 mg/l se alcanzó el 100 % de inmovilización del nematodo en todos los tratamientos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de diferentes concentraciones de cuatro nematocidas comerciales (i. a. abamectinas) sobre la movilidad de J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después de la exposición en condiciones *in vitro*.

Tratamientos	Porcentaje de J2 inmovilizados a diferentes concentraciones (mg/l)						
	0.5	1	10	25	50	75	100
Bamectín®	72.5 a*	85.0 a	85.0 a	100 a	100 a	100 a	100 a
Mortero®	72.5 a	80.0 a	85.0 a	100 a	100 a	100 a	100 a
Reglan®	75.0 a	77.5 a	80.0 a	100 a	100 a	100 a	100 a
Reglan Plus®	80.0 a	77.5 a	85.0 a	100 a	100 a	100 a	100 a

*Promedios de una columna con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0.01$).

4.1.2. Acción nematocida

En el Cuadro 4 se presentan los porcentajes de mortalidad de J2 de *Meloidogyne* spp. causadas por las diferentes concentraciones de abamectina después de haber sido expuestos por 24 h en agua. A la concentración más baja (0.5 mg/l) los nematocidas Bamectín, Mortero y Reglan Plus causaron entre el 32.5 y 45 % de mortalidad, no diferenciándose significativamente ($p < 0.01$). A mayores concentraciones la mortalidad aumentó en todos los nematocidas, lo cual demuestra que la dosis tóxica se asimiló durante las exposiciones (Fig. 1). A los 25 mg/l se determinó una mortalidad superior al 75 %. Es importante destacar que a partir de esta concentración el nematocida Mortero® alcanzó un 100 % de mortalidad superando significativamente a los otros tratamientos ($p < 0.01$).

Cuadro 4. Efecto de diferentes concentraciones de abamectinas comerciales sobre la mortalidad de J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después del enjuague en agua en condiciones *in vitro*

Tratamientos	Porcentaje de J2 muertos a diferentes concentraciones (mg/l)						
	0.5	1	10	25	50	75	100
Bamectín®	35.0 a	55.0 a	70.0 a	75.0 b	80.0 b	87.5 a	90.0 ab
Mortero®	45.0 a	57.5 a	87.5 a	100.0 a	100.0 a	100.0 a	100.0 a
Reglan®	12.5 b	30.0 b	80.0 a	77.5 b	95.0 ab	95.0 a	97.5 a
Reglan Plus®	32.5 ab	30.0 b	32.5 b	90.0 ab	95.0 ab	95.0 a	82.5 b

*Promedios de una columna con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0.01$).

† Datos originales transformados en $\sqrt{x + 10}$.

En este ensayo se ha demostrado que las diferentes concentraciones de abamectinas causaron una parálisis y mortalidad irreversible, resultados que coinciden con otros trabajos. Cayrol *et al.* (1993) observaron una parálisis y mortalidad en *M. arenaria* después de 24 h de exposición del nematodo a una concentración del 0.3 mg/l de abamectina, indican también que la toxicidad aumentó

luego del lavado en agua. Faske y Starr (2006) lograron una eficaz DL₉₀ en *M. incognita* a una concentración de 80 µg/ml de bamectina.

Wright *et al.* (1983) describieron que la respuesta del J2 de *M. incognita* expuestos a 0.1 mg/l de abamectina es en tres fases: (i) una rápida parálisis inicial en los primeros 10 min, (ii) seguido de una recuperación parcial en los siguientes 30 min de exposición y (iii) después de 120 min se presenta una disminución gradual de la actividad hasta una pérdida irreversible del movimiento. Por el contrario, los nematocidas inhibidores de la acetilcolinesterasa como el axamilo, causan inicialmente una hiperactividad de los J2 seguido de una progresiva disminución del movimiento. Se conoce que el modo de acción de las abamectinas es distinto a los nematocidas organofosforados y carbamatos. Las abamectinas tienen dos sitios de acción que difieren en su ubicación y propiedades farmacológicas (Stretton *et al.*, 1987). Existe una correlación entre los loci sensibles a la abamectina y la presencia de mecanismos sensibles al ácido c-aminobutírico (GABA) que implican el intercambio de permeabilidad al cloruro (Stretton *et al.*, 1987). Otro modo de acción es que las abamectinas estimulan la liberación de GABA a partir de terminales inhibidores presinápticos (Kass *et al.*, 1984).

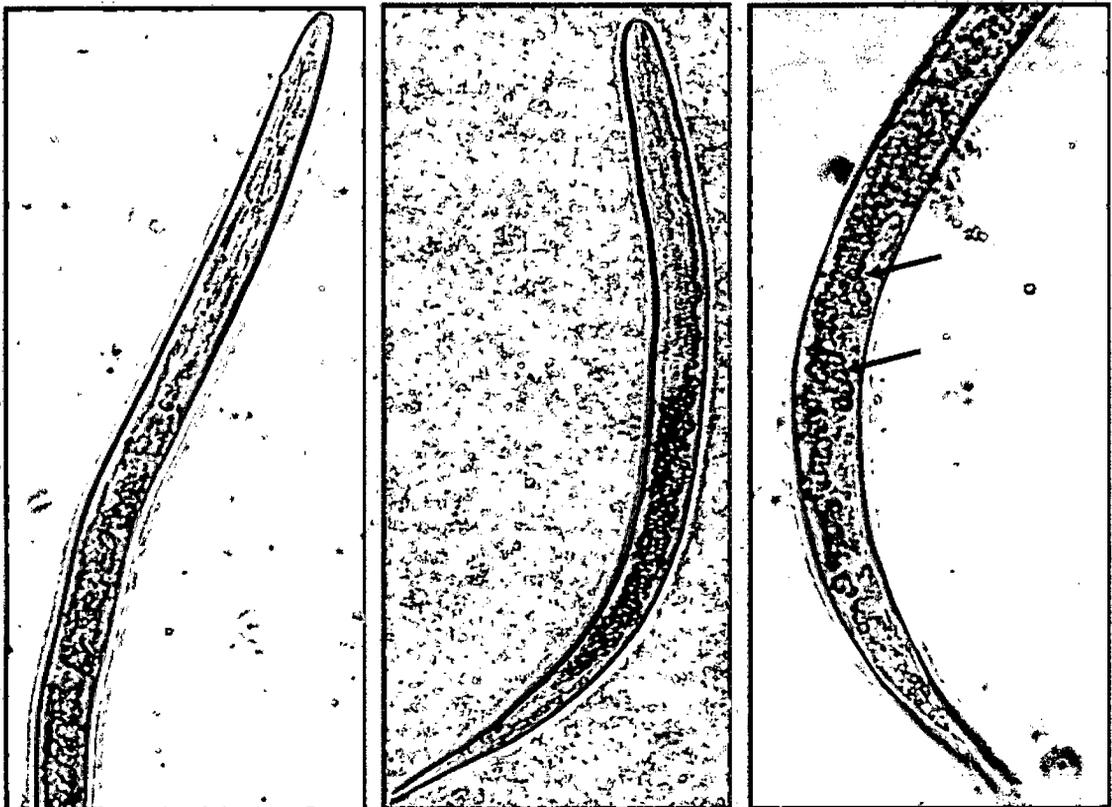


Figura 1. Morfología del segundo estado juvenil de *Meloidogyne* spp. tratado con Abamectina. Las líneas indican una desintegración de los órganos internos. Fotos tomadas 48 horas después del tratamiento.

4.1.3. Efecto sobre la eclosión de huevos de *Meloidogyne* spp.

En el Cuadro 5 se presenta los porcentajes de eclosión de huevos en las diferentes concentraciones de abamectinas comparados con el control agua. A partir de la menor concentración (0.5 mg/l) se estimó un efecto significativo en la detección del desarrollo de los huevos del nematodo, la eclosión en todos los tratamientos se redujo en más del 78 %, respecto al testigo, no se estimaron diferencias significativas. A mayores concentraciones disminuyeron los porcentajes de eclosión hasta el 100 % a partir de los 50 mg/l. Estos resultados coinciden con otros autores que han demostrado el efecto de las abamectinas sobre la eclosión de huevos de *Meloidogyne* spp. Nordmeyer y Dickson (1980), observaron que la exposición de masa de huevos de *M. arenaria*, *M. javanica* y *M. incognita* a 1 mg/l en una solución de abamectina B2 a 28°C por 5 días, inhibió completamente la eclosión de los huevos, este efecto inhibitorio en las tres especies superó la supresión observada con los nematicidas químicos fenamifos, etoprofos, aldicarb, oxamilo y carbofuran.

Cuadro 5. Efecto de diferentes concentraciones de abamectinas comerciales sobre la eclosión de huevos de *Meloidogyne* spp. 10 días después de la incubación en condiciones *in vitro*.

Tratamientos	Porcentaje de huevos eclosionados a diferentes concentraciones (mg/L)						
	0.5	1	10	25	50	75	100
Testigo	93.0 a	93.0 a	93.0 a	93.0 a	93.0 a	93.0 a	93.0 a
Bamectin®	15.0 b	13.5 b	8.5 b	1.5 b	0.0 b	0.0 b	0.0 b
Reglan®	10.0 bc	6.0 bc	8.0 bc	1.0 b	0.0 b	0.0 b	0.0 b
Reglan Plus®	6.5 c	2.0 c	2.0 c	1.5 b	0.0 b	0.0 b	0.0 b
Mortero®	6.5 c	4.5 c	2.5 bc	2.5 b	0.0 b	0.0 b	0.0 b

^aPromedios de una columna con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0.01$).

^bDatos originales transformados en $\sqrt{x + 10}$.

Reglan® y Reglan Plus® contienen como un segundo ingrediente activo el emamectin benzoato, el cual, tiene como objetivo contribuir en la toxicología y probable efecto sinérgico con la abamectina. Estos nematicidas no destacaron por presentar una mayor eficacia que los nematicidas Bamectin® y Mortero® que solo contienen como ingrediente activo abamectina. Emamectin benzoato es una avermectina de segunda generación, es un compuesto nematicida muy conocido debido a que se inyecta al tronco del pino para el control de *Bursaphelenchus xylophilus*, destaca por su persistencia y eficacia (Takai *et al.*, 2000; 2003). Bi *et al.* (2015) indican que en condiciones *in vitro* el emamectin benzoato es muy eficiente inhibiendo la eclosión de huevos y la fecundidad de *B. xylophilus*.

4.2. Ensayos de invernadero

Comparados con el Testigo inoculado, todas las dosis de los productos, excepto la dosis baja (2 l ha⁻¹) del Bamectin, redujeron significativamente el índice de agallamiento (ID) en las raíces del tomate. Los ID (< 3) estimados en los nematicidas que contienen como ingrediente activo abamectina no se diferenciaron significativamente ($p < 0.01$) del nematicida químico Vydate, utilizado como control estándar (Cuadro 6).

El potencial de inóculo de *Meloidogyne* spp. por planta en el testigo inoculado se estimó en 153,020 huevos + J2 del nematodo. Comparados con este control, las diferentes dosis de abamectinas suprimieron el nivel de reproducción del nematodo entre 99.8 y 98.3 %. El nematicida Reglan Plus 1 ha⁻¹ destacó por presentar el menor nivel de reproducción del nematodo, diferenciándose significativamente ($p < 0.01$) de los demás tratamientos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Índice de agallamiento y número de huevos más juveniles de *Meloidogyne* spp en raíces de tomate *Solanum lycopersicum* var. Rio Grande tratadas con cuatro nematicidas en condiciones de invernadero.

Tratamientos	Dosis (l/ha)	Índice de agallamiento (IA)	Huevos + J2/ raíces
Bamectín®	2	4.6 a	2614.8 b
Bamectín®	4	3.4 abc	1163.4 bc
Bamectín®	5	2.6 c	502.4 cd
Reglan®	4	3.0 bc	286 de
Reglan Plus®	1	2.6 c	178.6 e
Mortero®	4	2.4 c	238.4 de
Vydate®	4	2.4 c	774.0 c
Testigo inoculado	--	5.0 a	153 020.0 a

*Promedios de una columna con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0.05$).

†Datos originales transformados en $\text{Log}_{10}(x+1)$ antes del ANVA y prueba de Tukey.

IA = índice de agallamiento, basada en una escala de 0 a 5, donde: 0 = sin agallas y 5 = más de 100 agallas o masa de huevos en el sistema radicular.

Menores valores en todos los parámetros de crecimiento se observaron en todos los tratamientos con abamectinas con respecto al Testigo no inoculado (Fig. 2). Se estimaron que los parámetros de crecimiento con las abamectinas superaron significativamente ($p < 0.01$) al Testigo inoculado. Destacaron por presentar los mayores parámetros de crecimiento los nematicidas Reglan Plus® y Mortero® (Cuadro 7).

No se presentaron síntomas visibles de fitotoxicidad en las raíces ni en hojas de las plantas tratadas con las abamectinas. El tratamiento Bamectin® 5 l ha⁻¹ siempre presentó los menores niveles de crecimiento (Cuadro 7).

Se ha demostrado que en condiciones de invernadero las abamectinas aplicadas preventivamente (24 h antes de la inoculación) presentaron una alta eficacia nematicida al reducir significativamente los niveles de agallamiento y en más del 98 % la reproducción del nematodo, así como producir un buen crecimiento en plántulas de tomate (figura 3). Similares resultados en plantas de tomate han reportado López-Pérez *et al.* (2011) cuando aplicaron en drench el producto Avid® (abamectina i.a) en el mismo momento de la inoculación con *M. incognita*. Stretton *et al.* (1987) han indicado que estos resultados se deben a que las abamectinas causan una inmovilización de los juveniles más que un efecto sobre el desarrollo de los huevos.

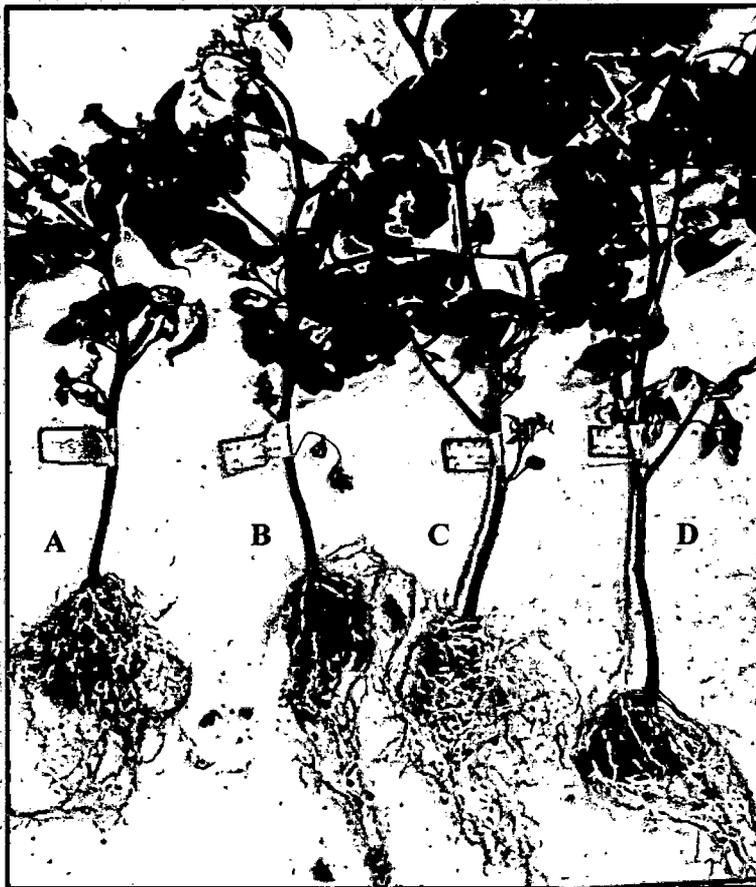


Figura 2. Plantas de tomate tratadas con diferentes abamectinas comerciales. A, Testigo inoculado, B, Mortero, C, Reglan y D, Reglan Plus. En el Testigo se observa mayor agallamiento y menor altura de planta. Foto tomada 45 días después de la inoculación con el nematodo

Ensayos donde aplicaron abamectina una semana antes de la inoculación y hasta dos semanas posteriores a la inoculación del nematodo han resultado poco eficaces en el control del nematodo por abamectinas (López-Pérez *et al.*, 2011).

Cuadro 7. Parámetros de crecimiento en plántulas de tomate *Solanum lycopersicum* var. Rio Grande inoculadas con *Meloidogyne* spp. y tratadas con cuatro nematicidas en condiciones de invernadero

Tratamientos	Dosis (l/ha)	Peso fresco raíces (g)	Largo de raíces (cm)	Peso fresco aéreo (g)	Altura planta (cm)
Bamectín®	2	21.0 ab	23.4 ab	30.0 bcd	40.0 cd
Bamectín®	4	24.0 a	21.0 ab	31.6 bc	41.2 bcd
Bamectín®	5	22.4 ab	21.8 ab	27.6 cd	38.2 d
Reglan®	4	21.8 ab	22.6 ab	31.6 bc	46.2 abcd
Reglan Plus®	1	21.6 ab	25.6 a	34.2 abc	49.2 abc
Mortero®	4	23.6 ab	24.2 ab	35.8 ab	51.4 ab
Vydate®	5	20.2 ab	21.4 ab	27.0 cd	45.8 abcd
Testigo con inóculo	--	18.8 b	18.2 b	22.8 d	36.6 d
Testigo sin inóculo	--	22.2 ab	27.4 a	39.0 a	55.8 a

*Promedios de una columna con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0.01$).

Las abamectina poseen un buen potencial biológico para ser empleadas en un programa de manejo de nematodos en condiciones de campo. Sin embargo, es necesario realizar más estudios para evaluar qué efectos producen los factores del medio ambiente tales como el tipo de suelo, pH, y otros que podrían afectar el performance de estos pesticidas. Es muy conocido que las abamecticas se degradan rápidamente por foto-oxidación (Mrozik, 1994). En el ambiente del suelo, su eficacia se ve comprometida porque se une fuertemente a las partículas del suelo y tiene una baja solubilidad en agua que resulta en un pobre movimiento del producto a través del perfil del suelo (Garabedian y Van Gundy, 1983; Bull *et al.*, 1984; Bull, 1985; Mrozik, 1994). Algunos estudios demostraron que la abamectina no afecta el desarrollo de *M. incognita* una vez dentro de las raíces debido a que la absorción por la raíz es mínima (Stretton *et al.*, 1987; Wislocki *et al.*, 1989).

En estas investigaciones se ha demostrado que las abamectinas presentan un fuerte potencial biológico para ser usadas como nematicidas en el control de *Meloidogyne* spp. y que de acuerdo con varios estudios el modo de acción de las abamectinas es muy diferente a la de los nematicidas organofosforados y carbamatos. Las abamectinas son promisorias candidatas para ser usadas en estrategias de manejo integrado de nematodos parásitos de plantas.

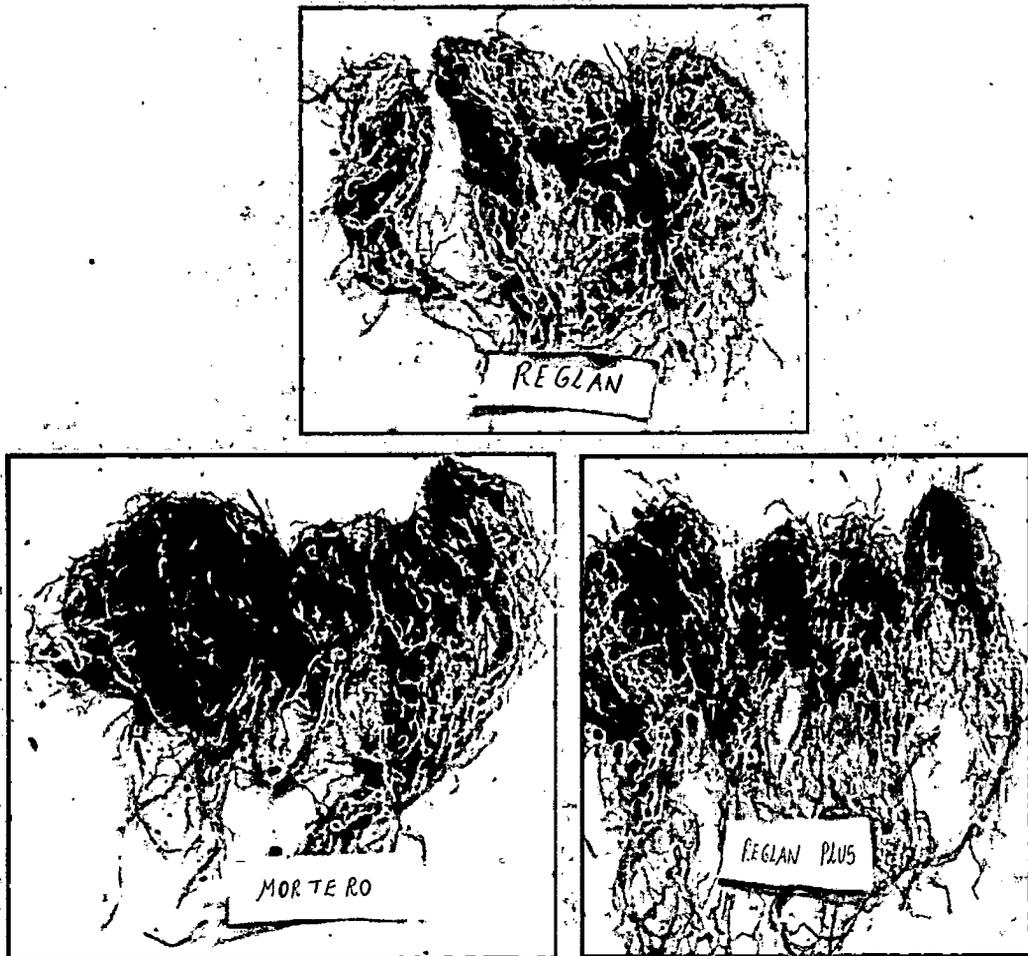


Figura 3. Raíces de tomate tratadas con diferentes concentraciones de abamectinas comerciales. No observándose diferencias significativas entre los productos experimentados. Raíces con bajo nivel de agallamiento. Fotos tomados 45 días después

V. CONCLUSIONES

a. Bamectin[®], Mortero[®], Reglan[®] y Reglan Plus[®] a una concentración mínima de 5 mg/l inmovilizaron más del 72 % del segundo estado juvenil J2 de *Meloidogyne* spp. A mayores concentraciones la inmovilización aumentó hasta el 100 %. Demostrándose una acción nemastática 24 horas después de la exposición.

b. Bamectin[®], Mortero[®], Reglan[®] y Reglan Plus[®] presentaron una significativa acción nematicida a concentraciones mayores o iguales a 25 mg/l, el efecto letal superó el 75 % de mortandad del J2 de *Meloidogyne* spp.

c. Bamectin[®], Mortero[®], Reglan[®] y Reglan Plus[®] causaron un significativo efecto en la detección del desarrollo de los huevos de *Meloidogyne* spp. A partir de la menor concentración (0.5 mg/l) se estimó que la eclosión se redujo en más del 78 %, respecto al Testigo. A partir de la concentración de 50 mg/l la eclosión de huevos se redujo al 100 % en los cuatro nematicidas.

d. Bamectin[®], Mortero[®], Reglan[®] y Reglan Plus[®] suprimieron significativamente los índices de agallamiento y reproducción de *Meloidogyne* spp. en las plantas de tomate, no diferenciándose significativamente respecto al nematicida Vydate[®].

e. Las plantas de tomate tratadas con Bamectin[®], Mortero[®], Reglan[®] y Reglan Plus[®] presentaron mayores valores de los parámetros de crecimiento con respecto al Testigo inoculado, diferenciándose significativamente.

VI. RECOMENDACIONES

- a. Validar la eficacia de las abamectinas como nematocidas en condiciones de campo tanto en cultivos anuales como en perennes.**
- b. Evaluar las abamectinas dentro de estrategias de manejo integrado de nematodos parásitos de plantas.**

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad, P., Favery, B., Rosso, M., and Castagnone-Sereno, P. 2003.** Root-knot nematode parasitism and host response: molecular basis of a sophisticated interaction. *Molecular Plant Pathology* 4: 217–224.
- Abad, P., Castagnone-Sereno, P., Rosso, M.N., De Almeida, J., and Favery, B. 2009.** Invasion, feeding and development. In: *Root- knot nematodes* (Perry, R.N.; Moens, M.; Starr, J.L. eds.) London, UK. CAB International. p. 163-176.
- Badra, T., Saleh, M.A., and Oteifa, B.A. 1979.** Nematicidal activity and composition of some organic fertilizers and amendments. *Revue de Nematologie*, 2: 30-36.
- Brust, E. G., W. D Scoot and J.M Ferris. 2003.** Root knot nematode control in melons. Department of Entomology.
- Bi, Z., Gong, Y., Huang, X., Yu, H., Bai, L., and Hu, J. 2015.** Efficacy of Four Nematicides Against the Reproduction and Development of Pinewood Nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. *Journal of Nematology* 47:126–132.
- Bull, D.L., Ivie, W., MacDonnel, J.G., Gruber, V.F., Ku, C.C., Arison, B.H., Stevenson, J.M., and Vanden Heuvel, W.J.A. 1984.** Fate of avermectin B1a in soil and plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 32:94–102.
- Bunt JA. 1987.** Mode of action of nematicides. In: Veech JA, Dickson DW (eds), *Vistas on Nematology: A Commemoration of the Twenty-Fifth Anniversary of the Society of Nematologists*. Hyattsville, MA, Society of Nematologists Inc., pp. 461–468.
- Cabrera, J., Menjivar, R., Dababat, A., and Sikora, R. 2013.** Properties and nematicide performance of avermectins. *J. Phytopathol.* 161:65-69.
- Cayrol JC, Djian C, Frankowski JP. 1993.** Efficacy of abamectin B1 for the control of *Meloidogyne arenaria*. *Fund Appl Nematol* 16:239–246.
- Chavarría-Carvajal, J.A., and Rodríguez-Kábana, R. 1998.** Alginate films for assessment of parasitism of *Meloidogyne incognita* using four organic amendments. *Nematropica*. 28(1): 41- 48.
- Chen, X., S. Muller and J.O, Becker. 2006.** Improved Plant Protection Against Root- knot Nematodes by Combining Biological Control and Biorationals Approaches.
- Chitwood, D.J. 2002.** Phytochemical based strategies for nematode control. *Annual Review of Phytopathology* 40:221-9.
- Chitwood, D.J., and Perry, R.N. 2009.** Reproduction, Physiology and Biochemistry. In Perry, R; Moens, M; Starr, J. eds. *Root-knot nematodes*. London, UK. CAB International. p. 182-194.
- Curtis, R., Robinson, A., and Perry, R. 2009.** Hatch and host location. In Perry, RN; Moens, M; Starr, JL .eds. *Root-knot nematodes*. London, Uk. CAB International 139-155 p.

- Díez-Rojo, M.A., López-Pérez, J.A., Urbano-Terrón, P. y Bello-Pérez, A. 2010.** Biodesinfección de suelos y manejo agronómico. Secretaria General Técnica Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid. 408 pp.
- Decraemer, W., and Hunt, D.J. 2006.** Structure and classification. In: Plant Nematology (Perry, R.N. and Moens, M., eds), p. 3–32. Wallingford, Oxfordshire: CAB International.
- Dropkin, V. H. 1980.** Introduction to Plant Nematology. Department of Plant Pathology, University of Missouri, Columbia. 293 pp.
- Eisenback, J.D., Hirschmann, H., Sasser, J.N., and Triantaphyllou, A.C. 1981.** A guide to the four most common species of root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.), with a pictorial key. Department of Plant Pathology, North Carolina State University/USAID. North Carolina State Graphics, Raleigh.
- Engel, S., Jensen, P.R., and Fenical, W. 2002.** Chemical ecology of marine microbial defense. *Journal of Chemical Ecology*. 28:1971-1985.
- Evans, A., and Perry, R. 2009.** Survival mechanisms. In Perry, RN; Moens, M; Starr, JL. Eds. Root-knot nematodes, London, UK. 201-219 p.
- Faske, T. R. and J. L. Starr. 2006.** Sensitivity of *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis* to abamectin. INIST-CNRS.
- Fisher MH, Mrozik H (1989) Chemistry.** In: Campbell WC (ed), Ivermectin and Abamectin. New York, NY, Springer Verlag, pp. 1–23.
- Garabedian S, Van Gundy SD. 1983.** Use of Avermectins for the control of *Meloidogyne incognita* on tomatoes. *Journal Nematology*. 15:503– 510.
- Hallmann, J. K., G. Davis and R. Sikora. 2007.** Biological Control Using Microbial Pathogens, Endophytes and Antagonist. Julius Kuhn Institute. Rothamsted Research. University of Bonn.
- Haydock, P.P.J., Woods, S.R., Grove, I.G., and Hare, M.C. 2006.** Chemical control of nematodes. In: Perry, R.N. and Moens, M. (eds) Plant Nematology. CAB International, Wallingford, UK, pp. 392–410
- Hussey, R. S., and Barker, K. R. 1973.** A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new method. *Plant Disease Reporter* 59:1025–1028.
- Hussey, R.S., and Mims, C.W. 1991.** Ultrastructure of esophageal glands and their secretory granules in the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Protoplasma* 156:918.
- Hussey, R.S., and Williamson, V.M. 1998.** Physiological and Molecular Aspects of Nematode Parasitism. In Barker, KR; Pederson, GA; Windham, GL. eds. Plant and Nematode Interactions. Madison, Wisconsin, USA. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc. p. 87-108. Jenkins
- Hussey, RS; Janssen, G. 2001.** Root-knot nematodes: *Meloidogyne* species. In Starr, J; Cook, R; Bridge, J. eds. Plant Resistance to Parasitic Nematodes. London, UK. CAB International. p. 43-70.

- Iwata Y, MacConnell JG, Flor JE, Putter I, Dinoff TM. 1985. Residues of avermectin B1a on and in citrus fruits and foliage. *J Agric Food Chem* 33:467–471.
- Jansson, R. K., and Dybas, R. A. 1998. Avermectins: Biochemical mode of action, biological activity and agricultural importance. Pp. 152–167 in I. Ishaaya and D. Degheele, eds. *Insecticides with novel modes of action: Mechanisms and application*. New York: SpringerVerlag.
- Jansson, R. K., and Rabatin, S. 1997. Curative and residual efficacy of injection applications of avermectins for control of plant-parasitic nematodes on banana. *Journal of Nematology* 29:695–702.
- Jansson, R. K., and Rabatin, S. 1998. Potential of foliar, dip, and injection applications of avermectins for control of plant-parasitic nematodes. *Journal of Nematology* 30:65–75.
- Kass IS, Stretton AOW, Wang CC. 1984. The effects of avermectin and drugs related to acetylcholine and 4-aminobutyric acid on neurotransmission in *Ascaris suum*. *Mol Biochem Parasitol* 13:213–225.
- Karssen, G., and Moens, M. 2006. Root-knot nematodes. In: Perry, R.N. and Moens, M. (eds) *Plant Nematology*. CAB International, Wallingford, UK; pp. 59–90
- Koenning, S. R., Wrather, J. A., Kirkpatrick, T. L., Walker, N. R., Starr, J. L., and Mueller, J. D. 2004. Plant-parasitic nematodes attacking cotton in the United States: Old and emerging production challenges. *Plant Disease* 88:100–113.
- Lamberti, F. 1979. Economic importance of *Meloidogyne* spp. in subtropical and Mediterranean climates. 341-357. In: *Root-Knot Nematodes (Meloidogyne Species) Systematics, Biology and Control*. F. Lambert y C.E. Taylor, eds. Academic Press, New York.
- Lassota, J. A., and R. A. Dybas. 1991. Avermectins, a novel class of compounds: implications for use in arthropod pest control. In: *Anun. Rev. Entomol.* 36: 91-117.
- Lopez-Perez, J.A., Edwards, S., and Ploeg, A. 2011. Control of root-knot nematodes on tomato in stone wool substrate with biological nematicides. *Journal of Nematology* 43:110–117.
- Luc, M; Sikora, RA; Bridge, J. 1990. *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. Wallingford, UK. CAB International, 629 p.
- Luc, M., Sikora, R.A. and Bridge, J. 2005. *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*, 2nd edn. CAB International, Wallingford, UK
- Maggenti, a.r., luc, m., raski, d.j., fortuneer, r. and geraert, e. 1988. A reappraisal of Tylenchina (Nemata). 11. List of generic and supra-generic taxa, with their junior synonyms. *Revue de Nématol.* 11, 177–188.
- Melakerberhan, H; Ferris, H.1989. Impact of *Meloidogyne incognita* on physiological efficiency of *Vitis vinifera*. *J. Nematol.* 21:74-80.
- Meyer, S.L.F., Chauhan, K.R., and MacDonald, M.H. 2016. Evaluation of roselle (*Hibiscus sabdariffa*) leaf and pomegranate (*Punica granatum*) fruit rind for activity against *Meloidogyne incognita*. *Nematropica* 46:85-96.

- McSorley, R., and Gallaher, R.N. 1995.** Effect of yard waste compost on plant-parasitic nematode densities in vegetable crops. Supplement to the Journal of Nematology 27:545–549.
- Moens, M., Starr, J.L., and Perry, R.N. 2009.** Root-knot Nematodes. UK by the MPG Books Group. 530 p.
- Mrozik, H. 1994.** Advances in research and development of avermectins. Pp. 54–73 in P.A. Hedin, J.J. Menn, and R.M. Hollingworth, eds. Natural and engineered pest management agents. Washington, DC: American Chemical Society.
- Muller, R., and Gooch, P.S. 1982.** Organic amendments in nematode control: An examination of the literature. Nematologica 12:319-326.
- Nicol, J.M., Turner, S.J., Coyne, D.L., den Nijs, L., Hockland, S., and Maafi, Z.T. 2011.** Current nematode threats to world agriculture. In: Genomics and Molecular Genetics of Plant–Nematode Interactions (Jones, J.T., Gheysen, G. and Fenoll, C., eds), p. 21–44. Heidelberg: Springer.
- Nyczepir, A.P., and Thomas, S.H. 2009.** Current and Future Management Strategies in Intensive Crop Production Systems In Perry, RN; Moens, M; Starr, JL. eds. Root- knot nematodes. London, UK. CAB International. p. 412-443.
- Noling, J.W., and Becker J.O. 1994.** The challenge of research and extension to define and implement alternatives to methyl bromide. Journal of Nematology 26, 573-586.
- Nordmeyer D, Dickson DW. 1981.** Effect of oximecarbamates and organophosphates and one avermectin on the oxygen uptake of three *Meloidogyne* spp. J Nematol 13:452–453
- Opperman, C.H., and Chang, S. 1990.** Plant-parasitic nematode acetylcholinesterase inhibition by carbamate and organophosphate nematicides. Journal of Nematology 22, 481–488.
- Orton Williams, K.J. 1973.** *Meloidogyne incognita*. C.I.H. Descriptions of Plant Parasitic Nematodes, Set 2, N° 18, 4 pp.
- Ramsey, K., Wang, Z, and Jones, M.G.K. 2004.** Using laser capture microdissection to study gene expression in early stages of giant cells induced by root-knot nematodes. Molecular Plant Pathology 5, 587–592.
- Roberts P.A. 1993.** The future of nematology: integration of new and improved management strategies. J. Nematol. 25: 383-394.
- Roberts, P. A., and Matthews, W. C. 1995.** Disinfection alternatives for control of *Ditylenchus dipsaci* in garlic seed cloves. Journal of Nematology 27:448–456.
- Roberts TR, Hutson DH. 1999.** Macroyclic insecticides. In: Roberts TR, Hutson DH, Lee PW, Nicholls PH, Plimmer JR (eds). Metabolic Pathways of Agrochemicals: Part 2 Insecticides and Fungicides. Cambridge, UK, Royal Society of Chemistry Publishing, pp. 70–104
- Rodríguez-Kábana, R., Morgan-Jones, G., Godoy, G., and Ownley Gintis, B. 1984.** Effectiveness of species of *Gliocladium*, *Paecilomyces*, and *Verticillium* for control of *Meloidogyne arenaria* in field soil. Nematologica 14: 155-170.

- Rodriguez-Kabana, R. 1986.** Organic and inorganic nitrogen amendments to soil as nematode suppressants. *Journal Nematology* 18:129-135.
- Sasser, J.N. 1980.** Root-Knot nematodes: a global menacetocrop production. *Plant Disease* 64: 36-41.
- Sasser, J. N., Kirkpatrick T. L., and Dybas, R. A. 1982.** Efficacy of avermectins for root-knot control in tobacco *Meloidogyne incognita*. *Plant Disease* 66:691–693.
- Siddiqi, M.R. 2000.** Tylenchida Parasites of Plants and Insects. CABI, UK, 833 pp.
- Sikora, R.A., 1992.** Management of the antagonistic potential in agricultural ecosystems for the biological control of plant parasitic nematodes. *Annu. Rev. Phytopathol.* 30: 245 - 270.
- Stretton AO, Campbell WC, Babu JR. 1987** Biological activity and mode of action of avermectins. In: Veech JA, Dickson DW (eds), *Vistas on Nematology: a Commemoration of the Twenty-fifth Anniversary of the Society of Nematologist Hyattsville. MA, Society of Nematologist, Inc., pp. 136–146.*
- Takai, K., Soejima, T., Suzuki, T., and Kawazu, K. 2000.** Emamectin benzoate as a candidate for a trunk-injection agent against the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*. *Pest Management Science* 56:937–941.
- Taylor, A; Sasser, J. 1983.** Biología, identificación y control de los nemátodos del nódulo de la raíz. North Carolina. EE. UU. Proyecto Internacional de Meloidogyne. Publicación Cooperativa entre el Departamento de Fitopatología de la Universidad del Estado de Carolina del Norte y la Agencia de EE. UU. para el desarrollo Internacional. 111 p.
- Turner, M.J., and Schaeffer, J.M. 1989.** Mode of action of avermectin. In: Campbell WC (ed), *Ivermectin and Abamectin*. New York, NY, Springer Verlag, pp. 73–88.
- Trivedi, P.C., and Barker, K.R. 1986.** Management of nematodes by cultural practices. *Nematropica* 16: 213-236.
- Walla, R.K., Nandal, S.N., and Bhatti, D.S. 1999.** Nematicidal efficacy of plant leaves and *Paecilomyces lilacinus*, alone or in combination, in controlling *Meloidogyne incognita* on okra and tomato. *Nematologia Mediterranea* 27:3-8.
- Wallace, H. 1964.** The biology of plant parasitic nematodes. London, UK. Edward Arnold. 280 p.
- Ware, G.W., and Whitacre, D.M. 2004.** Radcliffe` IPM World Textbook. An Introduction to Insecticides (4th edition). University of Minesota (en linea). <https://ipmworld.umn.edu/favorites> (fecha de consulta: 07-05-2019)
- Widmer, T.L., Mitkowski, N.A. and Abawi, G.S. 2002.** Soil organic matter and management of plant-parasitic nematodes. *Journal of Nematology* 34: 289-295.
- Wislocki PG, Grosso LS, Dybas RA. 1989.** Environmental aspects of abamectin use in crop protection. In: Campbell WC (ed), *Ivermectin and Abamectin*. New York, NY, Springer Verlag, pp. 182– 200.

Wright DJ, Birtle AJ, Corps AE, Dybas RA. 1983. Efficacy of avermectins against a plant parasitic nematode *Meloidogyne incognita*. *Ann Appl Biol* 103:465–470.

Zasada, I.A., Halbrendt, J.M., Kokalis-Burelle, N., LaMondia, J., McKenry, M.V., and Noling, J.W. 2010. Managing nematodes without methyl bromide. *Ann. Rev. Phytopathol.* 48:311-328.

Zhang, D., Wang, H., Ji, X., Wang, K., Wang, D., and Qiao, K. 2017. Effect of Abamectin on the Cereal Cyst Nematode (CCN, *Heterodera avenae*) and Wheat Yield. *Plant Disease*: 973-976.

ANEXOS

Cuadro 8. Análisis de la varianza del efecto nemastático de los nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan Plus a una concentración del 0.5 mg/l sobre la movilidad de J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después de la exposición, en condiciones *in vitro*.

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Tratamientos	3	150	50	0.92	3.49	5.95 ns
Error experimental	12	650	54.167			
Total	15	800				
C.V.	9.81 %					

Cuadro 9. Análisis de varianza del efecto nemastático de cuatro nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una cconcentración del 1 mg/l sobre la movilidad de J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas de la exposición, en condiciones *in vitro*.

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Tratamientos	3	150	50	0.7059	3.48999	5.9505 ns
Error experimental	12	850	70.833			
Total	15	1000				
C.V.	10.52 %					

Cuadro 10. Análisis de varianza del efecto nemastático de cuatro nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una cconcentración del 10 mg/l sobre la movilidad de J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas de la exposición, en condiciones *in vitro*.

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Tratamientos	3	75	25	0.429	3.49	5.95NS
Error experimental	12	700	58.33 *			
Total	15	775				
C.V.	9.12 %					

Cuadro 11. Análisis de varianza del efecto nemastático de cuatro tratamientos Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una concentración del 25 mg/l sobre la movilidad de J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas de la exposición, en condiciones *in vitro*.

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Tratamientos	3	0	0	0	3.49	5.95ns
Error experimental	12	0	0			
Total	15	0				
C.V.	0.00 %					

Cuadro 12. Análisis de la varianza del efecto nematicida del Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan Plus a una concentración del 0.5 mg/l sobre J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después de lavados en agua, en condiciones *in vitro*.

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Tratamientos	3	2225	741.7	11.867	3.49	5.95**
Error experimental	12	750	62.5			
Total	15	2975				
C.V.	25.30 %					

**Significativo a un nivel del 1% de probabilidad ($p < 0,01$)

Cuadro 13. Análisis de varianza del efecto nematicida del Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una concentración de 1 mg/l sobre J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después del lavado, en condiciones *in vitro*.

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Tratamientos	3	2768.75	922.9	7.0317	3.48999001	5.95049566**
Error experimental	12	1575	131.3			
Total	15	4343.8				
C.V.	26.57 %					

**Significativo a un nivel del 1% de probabilidad ($p < 0,01$)

Cuadro 14. Análisis de varianza del efecto nematocida de Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus) a una concentración del 10 mg/l sobre J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después del lavado, en condiciones *in vitro*.

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Tratamientos	3	7150	2383	18.452	3.48999	5.950496**
Error experimental	12	1550	129.2			
Total	15	8700				
C.V.	16.84 %					

**Significativo a un nivel del 1% de probabilidad ($p < 0,01$)

Cuadro 15. Análisis de varianza del efecto nematocida de Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una concentración del 25 mg/L sobre J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después del lavado, en condiciones *in vitro*.

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Tratamientos	3	1619	539.58	4.7091	3.4899901	5.95049566**
Error experimental	12	1375	114.58			
Total	15	2994				
C.V.	12.50 %					

**Significativo a un nivel del 1% de probabilidad ($p < 0,01$)

Cuadro 16. Análisis de varianza del efecto nematocida de Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una concentración del 50 mg/L sobre J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después del lavado, en condiciones *in vitro*.

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Tratamientos	3	900	300	6	3.48999001	5.95049566**
Error experimental	12	600	50			
Total	15	1500				
C.V.	7.64 %					

**Significativo a un nivel del 1% de probabilidad ($p < 0,01$)

Cuadro 17. Análisis de varianza del efecto nematicida de Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una concentración del 75 mg/l sobre J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después del lavado, en condiciones *in vitro*.

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Tratamientos	3	318.75	106.25	2.6842	3.48999001	5.95049566ns
Error experimental	12	475	39.583			
Total	15	793.75				
C.V.	6.67 %					

Cuadro 18. Análisis de varianza del efecto nematicida de Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una concentración del 100 mg/l sobre J2 de *Meloidogyne* spp. 24 horas después del lavado, en condiciones *in vitro*.

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Tratamientos	3	750	250	5.4545	3.4899901**	5.95049566
Error experimental	12	550	45.833			
Total	15	1300				
C.V.	7.32 %					

**Significativo a un nivel del 5% de probabilidad ($p < 0,05$)

Cuadro 19. Análisis de la varianza del efecto de los nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan Plus a una concentración del 0.5 mg/l sobre la eclosión de huevos de *Meloidogyne* spp. 10 días después de la exposición, en condiciones *in vitro*.

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Tratamientos	4	22505	5626	630	3.055547086	4.89306346**
Error experimental	15	134	8.933			
Total	19	22639				
C.V.	11.41 %					

**Significativo a un nivel del 1% de probabilidad ($p < 0,01$)

Cuadro 20. Análisis de varianza del efecto de los nematocidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una concentración del 1 mg/L sobre la eclosión de huevos de *Meloidogyne* spp. 10 días después de la exposición, en condiciones *in vitro*.

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Tratamientos	4	24237	6059	745	3.055547086	4.89306346**
Error experimental	15	122	8.133			
Total	19	24359				
C.V.	11.98 %					

**Significativo a un nivel del 1% de probabilidad ($p < 0,01$)

Cuadro 21. Análisis de varianza del efecto de cuatro nematocidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus a una concentración del 10 mg/L sobre la eclosión de huevos de *Meloidogyne* spp. 10 días después de la exposición, en condiciones *in vitro*.

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Tratamientos	4	24785	6199	1133	3.055547086	4.89306346**
Error experimental	15	82	5.467			
Total	19	24867				
C.V.	10.25 %					

**Significativo a un nivel del 1% de probabilidad ($p < 0,01$)

Cuadro 22. Análisis de la varianza del efecto de los nematocidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan Plus sobre el índice de agallamiento de *Meloidogyne* spp en plantas de tomate, en condiciones de invernadero

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Bloques	4	5	1.25	2.46478873	2.71405889	4.07393575
Tratamientos	7	36.3	5.185714	10.2253521	2.35925975	3.35807208**
Error experimental	28	14.2	0.507143			
Total	39	55.5				
C.V.	21.91 %					

**Significativo a un nivel del 1% de probabilidad ($p < 0,01$)

Cuadro 23. Análisis de la varianza del efecto de los nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan Plus sobre el número de huevos + J2 de *Meloidogyne* spp en plantas de tomate, en condiciones de invernadero

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Bloques	4	0.2779724	0.0694931	2.46538145	2.71405889	4.0739357
Tratamientos	7	31.718409	4.5312013	160.751774	2.3592975	3.35807208**
Error experimental	28	0.7892519	0.02818757			
Total	39	32.785634				
C.V.	5.58 %					

**Significativo a un nivel del 1% de probabilidad ($p < 0,01$)

Cuadro 24. Análisis de la varianza del efecto de los nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan Plus sobre el peso de raíces en plantas de tomate, en condiciones de invernadero.

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Bloques	4	116.58	29.1444	5.29231	2.66842**	3.9694
Tratamientos	8	104	13	2.36066	2.2444**	3.1267
Error experimental	32	176.22	5.50694			
Total	44	396.8				
C.V.	10.80 %					

**Significativo a un nivel del 5% de probabilidad ($p < 0,05$)

Cuadro 25. Análisis de varianza del efecto de los nematicidas Bamectín, Mortero, Reglan y Reglan plus sobre la longitud de raíces en plantas de tomate, en condiciones de invernadero.

Fuente de variabilidad	G.L.	S.C	C.M.	F	F (5%)	F (1%)
Bloques	4	10.35556	2.588889	0.336705	2.668421	3.969386
Tratamientos	8	293.5111	36.68889	4.771676	2.244396	3.126746**
Error experimental	32	246.0444	7.688889			
Total	44	549.9111				
C.V.	12.14 %					

**Significativo a un nivel del % de probabilidad ($p < 0,01$)