



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL-
UNIDAD OAXACA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

**Organismos biológicos para el manejo del nemátodo del
nódulo *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) en tomate
(*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones semicontroladas.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
(PRODUCCIÓN Y PROTECCIÓN VEGETAL)

PRESENTA:
ING. SERGIO INES VÁSQUEZ

DIRECTORES DE TESIS
DR. TEODULFO AQUINO BOLAÑOS
DRA. YOLANDA DONAJÍ ORTÍZ HERNÁNDEZ

SANTA CRUZ XOXOCOTLÁN, OAXACA, JUNIO 2016.



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 23 del mes de mayo del 2016 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca**

(CIIDIR-OAXACA) para examinar la tesis de grado titulada: Organismos biológicos para el manejo del nemátodo del nódulo *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones semicontroladas

Presentado por el alumno:

Ines	Vásquez	Sergio
Apellido paterno	materno	nombre(s)
		Con registro: A 1 4 0 3 9 7

aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis




Dr. Teodulfo Aquino Bolaños



Dra. Yolanda Donají Ortiz Hernández



Dra. Martha Angélica Bautista Cruz




Dr. Alfonso Vásquez López



Dr. David Martínez Sánchez

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 23 del mes de mayo del año 2016, el (la) que suscribe Ines Vásquez Sergio alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro A140397, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de los Dres. Teodulfo Aquino Bolaños y Yolanda Donaji Ortiz Hernández y cede los derechos del trabajo titulado, "Organismos biológicos para el manejo del nemátodo del nódulo *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones semicontroladas", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: posgradoox@ipn.mx ó sergio.x75@hotmail.com se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


Ines Vásquez Sergio



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACION PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
I.P.N.

RESUMEN

Dos experimentos se llevaron a cabo en condiciones semicontroladas (invernadero) en tres sistemas de cultivo (en suelo con bolsas plásticas, en suelo con acolchado plástico y en suelo sin acolchar), bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento, el primero fue para determinar Umbral de Tolerancia con cuatro niveles de inóculo 1,000, 2,000, 3,000 y 5,000 huevos de *Meloidogyne incognita*/planta de tomate *Solanum lycopersicum* L. y sin la aplicación de métodos de control, encontrando que las plantas toleran hasta 3,000 nematodos/planta a los 50 días del trasplante (ddt) sin afectarse su altura y a los 110 ddt, con 3,000 y 5,000 nematodos/planta todas las variables de crecimiento se afectaron de 3.5% - 26% y hay un incremento de 1.4 nematodos por cada huevo inoculado y una reducción en el rendimiento de 0.74 kg planta⁻¹ a partir de 1,000 huevos/planta hasta 2.44 kg planta⁻¹ con la presencia de 5,000 huevos/planta, los nematodos afectaron el rendimiento de 12.45%-41.07%. En el segundo ensayo se evaluaron Métodos de Control con *Paecilomyces lilacinus*, *Bacillus subtilis*, materia orgánica 0.187 kg/ kg suelo, con un sólo nivel de inóculo 5,000 huevos de *M. incognita*/planta, comparado con el nematicida carbofuran, además de un testigo control, *P. lilacinus* tuvo la mejor reducción de agallas con 50.7% y *B. subtilis* con 35.3% a diferencia del carbofuran con 83.07%. Los mayores rendimientos fueron con *Paecilomyces lilacinus*, *Bacillus subtilis* y materia orgánica con 5.26, 5.21 y 5.04 kg planta⁻¹ respectivamente en relación al testigo con 4.07 kg planta⁻¹. Con *P. lilacinus*, el rendimiento aumentó en un 22.62%. La especie *M. incognita* fue identificada morfológicamente mediante el uso de claves. Previamente se hicieron muestreos de suelo en unidades de producción de tomate a dos profundidades, donde a 0-15 cm las poblaciones de nematodos activos en estado juvenil j2 fueron mayores de 3,800 y de 15-30 cm hasta 1,100, esto se observó a mayor edad del cultivo y durante la producción.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., *Meloidogyne incognita*, umbral de tolerancia, control biológico.

ABSTRACT

Two pots experiments were conducted under controlled conditions (greenhouses) in three cropping systems, under a completely randomized design with four replicates per treatment, the first test was to determine tolerance threshold with four inoculum levels (1,000, 2,000, 3,000 and 5,000) eggs of *Meloidogyne incognita*/tomato plant *Solanum lycopersicum* L. Var. el Cid F1 without the application of control methods. Fifty and one hundred ten days after transplant roots were assessed for gall index, final population, fresh and dry root weights and shoot were also recorded, finding that plants tolerate up to 3,000 nematodes/plant at 50 (ddt) without affecting its height and to 110 ddt with 3,000 and 5,000 nematodes/plant, all growth variables were affected of 3.5% - 26% and there is an increase of 1.4 nematodes per inoculated egg and a reduction in yield of 0.74 kg plant⁻¹ from 1,000 eggs/plant to 2.44 kg plant⁻¹ with the presence of 5,000 eggs / plant, nematodes affected yield of 12.45% - 41.07%. In the second trial *Paecilomyces lilacinus*, *Bacillus subtilis*, organic matter 0.187 kg/kg soil, were assessed as nematodes control methods, with an inoculum level only 5,000 *M. incognita* eggs/plant, they compared with the nematicide carbofuran and an untreated control. *P. lilacinus* had the best reduction galls with 50.7%, *B. subtilis* with 35.3% unlike carbofuran with 83.07%. The highest yields were with *Paecilomyces lilacinus*, *Bacillus subtilis* and organic matter with 5.26, 5.21 and 5.04 kg plant⁻¹ respectively compared with untreated control with 4.07 kg plant⁻¹. With *P. lilacinus* crop yield increased by 22.62%. Before the establishment of both experiments, soil samples were made at two depths in commercial greenhouses of tomato production in the state to find nematodes in juvenile stage j2, concluding that the depth of 0-15 cm there are more than 3800 nematodes and 15-30 are less than 1100, this was observed in older plants and production. The *M. incognita* isolate, obtained from an infected tomato field, was identified morphologically by using keys.

Key words: *Solanum lycopersicum* L., *Meloidogyne incognita*, tolerance threshold, biological control.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme lograr uno más de mis propósitos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de maestría.

Al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR IPN - Unidad Oaxaca) por el apoyo educativo para poder realizar mis estudios.

Al Dr. Teodulfo Aquino Bolaños por la confianza brindada, dedicación, sugerencias, y su acertada dirección, mi agradecimiento sincero.

A la Dra. Yolanda Donají Ortiz Hernández, Dra. Martha Angélica Bautista Cruz, Dr. David Martínez Sánchez y Dr. Alfonso Vásquez López, por su apoyo y orientación a la presente investigación.

Al Dr. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez, por sus valiosas aportaciones y compartir su experiencia.

Al Dr. Celerino Robles Pérez por las sugerencias y facilidades otorgadas en el laboratorio.

A mis compañeros y amigos, Gustavo, Nelly y Mariana por su valiosa amistad.

A todos quienes contribuyeron de una u otra manera para la conclusión de la presente investigación.

A mi familia por su apoyo en todo momento.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	1
ÍNDICE DE FIGURAS	2
I.-INTRODUCCIÓN	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. Superficie cultivada e importancia de <i>Solanum lycopersicum</i> L.	6
2.2. Importancia y distribución de nematodos de plantas	7
2.2.1. Distribución mundial del género <i>Meloidogyne</i> spp.	7
2.2.2. Distribución nacional del género <i>Meloidogyne</i> spp.	8
2.3. Ciclo de vida de <i>Meloidogyne incognita</i>	8
2.4. Métodos de control utilizados contra nematodos en plantas	9
2.4.1. Métodos de control de <i>Meloidogyne incognita</i>	9
2.4.2. Uso de enmiendas orgánicas para el control de <i>Meloidogyne incognita</i>	10
2.4.3. Control de nematodos con entomopatógenos	11
2.4.4. Utilización de hongos, bacterias y levaduras para el control de <i>Meloidogyne incognita</i> en el cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i> L.	11
2.4.5. Interacciones de hongos de micorriza arbuscular y rizobacterias para el control de nematodos formadores de agallas en hortalizas	13
III. ANTECEDENTES	15
IV. OBJETIVOS	18
4.1. Objetivo general	18
4.2. Objetivos específicos	18
V. HIPÓTESIS	18
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	19
Sitio de estudio	19
6.1. Muestreo de suelos a dos profundidades en invernaderos de producción de tomate <i>Solanum lycopersicum</i> L.	19
6.1.1. Muestreo de suelos por ciclos de cultivo en tomate <i>Solanum lycopersicum</i> L.	20
6.1.2. Extracción de nematodos y huevos de <i>M. incognita</i> de suelos muestreados y de raíces	21

6.2.	Determinación del tiempo de eclosión de huevos de <i>Meloidogyne incognita</i> en suelos e identificación morfológica de la especie	22
6.3.	Determinación de Umbrales de Tolerancia de tomate <i>Solanum lycopersicum</i> a cuatro concentraciones diferentes de nematodos/planta	22
6.4.	Evaluación de métodos de control de <i>Meloidogyne incognita</i> a base de organismos biológicos en tomate <i>Solanum lycopersicum</i> cultivado en tres sistemas de cultivo en condiciones semicontroladas.	23
6.4.1.	Inoculación de huevos de <i>Meloidogyne incognita</i>	24
6.5	Variables evaluadas en los experimentos de umbrales de tolerancia y métodos de control.	24
6.6.	Diseño experimental	26
6.7.	Análisis estadístico	27
6.8.	Material biológico y manejo del cultivo utilizados en los experimentos	27
6.8.1.	Organismos biológicos	27
6.8.2.	Material vegetativo	27
6.8.3.	Manejo agronómico del cultivo de tomate <i>S. lycopersicum</i> L. en ambos experimentos ambos experimentos.	27
6.8.3.1.	Solución nutritiva	29
6.8.3.2.	Temperatura y humedad relativa del medio ambiente, dentro del invernadero.	30
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	31
7.1.	Comportamiento de la población de nematodos a dos profundidades de suelo en invernaderos de producción de tomate <i>Solanum lycopersicum</i> .	31
7.2.	Tiempo de eclosión de huevos de <i>Meloidogyne incognita</i> en laboratorio e identificación	33
7.3.	Umbrales de tolerancia de tomate <i>Solanum lycopersicum</i> a cuatro concentraciones diferentes de nematodos/planta biológicos.	34
7.4.	Efecto de organismos biológicos evaluados sobre el control de <i>Meloidogyne incognita</i> en tomate <i>Solanum lycopersicum</i> cultivado en condiciones semicontroladas en tres sistemas de cultivo.	43
7.4.1.	Efecto de tratamientos evaluados sobre variables de crecimiento, índice de agallamiento, cantidad de nematodos en suelo y rendimiento independiente del sistema de cultivo	49
VIII.	CONCLUSIONES	55
IX.	RECOMENDACIONES	57
X.	LITERATURA CITADA	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Muestras de suelos compuestas tomadas por sitio, por fecha y profundidad para la determinación de poblaciones de nematodos juveniles j2.	21
Tabla 2	Cantidades del nematodo <i>Meloidogyne incognita</i> en tres sistemas de cultivo en tomate <i>Solanum lycopersicum</i> .	23
Tabla 3	Efecto de agentes biológicos en <i>Meloidogyne incognita</i> en tomate <i>Solanum lycopersicum</i> bajo invernadero en tres sistemas de cultivo.	24
Tabla 4	Efecto de <i>Meloidogyne incognita</i> a diferentes concentraciones en tomate, en tres sistemas de cultivo, sobre altura, peso fresco y seco de raíz.	35
Tabla 5	Índice de agallamiento en raíz según escala Bridge y Page (1980) de nematodos en muestras de suelo en tomate <i>Solanum lycopersicum</i> .	37
Tabla 6	Efecto de <i>Meloidogyne incognita</i> sobre peso fresco y seco de raíz y hojas en tres fechas de muestreo (50, 80 y 110 ddt) en tomate <i>Solanum lycopersicum</i> cultivado en tres sistemas bajo condiciones semicontroladas.	44
Tabla 7	Tratamientos aplicados para el control de <i>M. incognita</i> sobre la altura, peso fresco y seco de raíz en tomate cultivado en condiciones semicontroladas.	50
Tabla 8	Tratamientos aplicados para el control de <i>M. incognita</i> sobre peso foliar fresco y seco en de tomate cultivado en condiciones semicontroladas.	50
Tabla 9	Efecto de tratamientos sobre el número de nematodos y el índice de agallamiento según escala Bridge y page (1980) en tres fechas de muestreo en el cultivo de tomate cultivado en condiciones semicontroladas.	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Invernadero para la conducción de experimentos CIIDIR-IPN.	19
Figura 2	Obtención de inóculo de <i>M. incognita</i> . (a) Raíces con agallas por nematodos. (b) Huevos de <i>M. incognita</i> extraídos de raíces infectadas.	21
Figura 3	Diagrama del índice de agallas para el nematodo agallador, según John Bridge y Sam Page (1980).	26
Figura 4	Sistemas de cultivo. (a) Cultivo en macetas. (b) Cultivo en acolchado plástico. (c) Cultivo en suelo sin acolchar.	28
Figura 5	Sistema de riego y control de humedad en el cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i> L. (a) Riego por goteo. (b) Tensiómetro para control de humedad del suelo.	29
Figura 6	Equipo HOBO® Pro V2 instalado para la medición de temperatura y control de humedad relativa en invernadero.	30
Figura 7	Nematodos juveniles j2 encontrados a los 120 días ddt del cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i> L. en dos usos de suelo.	31
Figura 8	Nematodos juveniles j2 encontrados a los 160 días ddt del cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i> L. en dos usos de suelo.	32
Figura 9	Promedio de nematodos J2 en muestra de suelo a dos profundidades y en dos fechas en tomate <i>Solanum lycopersicum</i> por uno y tres ciclos consecutivos.	33
Figura 10	Emergencia del estado juvenil j2 de <i>M. incognita</i> . (a) Huevo en estado embrionario. (b) Estado j1 de <i>M. incognita</i> . (c) Nematodo en estado j2 de <i>M. incognita</i> después de haber eclosionado.	34
Figura 11	Relación entre la población inicial y final de <i>Meloidogyne incognita</i> en el segundo muestreo a los 110 días en tomate cultivado en condiciones semicontroladas.	38
Figura 12	Relación entre el número de nematodos j2 <i>Meloidogyne incognita</i> y el índice de agallamiento, al segundo muestreo a los 110 días.	39
Figura 13	Relación entre la cantidad de nematodos j2 <i>Meloidogyne incognita</i> y peso seco de raíz al segundo muestreo a los 110 días, en tomate cultivado condiciones semicontroladas.	40

Figura 14	Relación entre el índice de agallamiento de raíz por el nematodo <i>Meloidogyne incognita</i> y el peso seco de raíz al segundo muestreo a los 110 días.	40
Figura 15	Efecto de tratamientos de umbrales de tolerancia, sobre el rendimiento de tomate cultivado en tres sistemas de cultivo en condiciones semicontroladas.	41
Figura 16	Efecto de tratamientos de umbrales de tolerancia, sobre el rendimiento de tomate cultivado en invernadero	42
Figura 17	Relación entre la población inicial de <i>Meloidogyne incognita</i> y el rendimiento de tomate cultivado en condiciones semicontroladas.	42
Figura 18	Efecto de sistemas de cultivo sobre altura, índice de agallamiento de raíz y cantidad de nematodos en suelo en tres fechas de muestreo (50, 80 y 110 ddt) en plantas de tomate <i>Solanum lycopersicum</i> L.cultivadas en condiciones semicontroladas.	44
Figura 19	Índice de agallamiento de raíz en tres fechas de muestreo <i>Solanum lycopersicum</i> L.cultivadas en condiciones semicontroladas	45
Figura 20	Número de nematodos en estado juvenil J2 de <i>M. incognita</i> encontrados en tres fechas de muestreo y tres sistemas de cultivo de <i>Solanum lycopersicum</i> L.cultivadas en condiciones semicontroladas.	46
Figura 21	Relación entre la cantidad de nematodos en estado juvenil J2 de <i>M. incognita</i> encontrados en tres fechas de muestreo y tres sistemas de cultivo de <i>Solanum lycopersicum</i> L.cultivadas en condiciones semicontroladas	47
Figura 22	Cantidad de nematodos j2 <i>Meloidogyne incognita</i> y índice de agallamiento al tercer muestreo (120 ddt), en tomate en tres sistemas de cultivo en condiciones semicontroladas.	48
Figura 23	Efecto de tratamientos sobre el rendimiento de tomate cultivado en tres sistemas de cultivo en condiciones semicontroladas	49
Figura 24	Índice de nudosidad radicular de <i>M. incognita</i> de tomate cultivado en condiciones semicontroladas	51
Figura 25	Cantidad de nematodos juveniles j2 de <i>M. incognita</i> encontradas en tres fechas de muestreo en cada tratamiento en tomate cultivado en condiciones semicontroladas	53
Figura 26	Efecto de tratamientos aplicados para el control de nematodos sobre el rendimiento de tomate cultivado en invernadero	54

I. INTRODUCCIÓN

En México, el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las especies más importantes por la superficie sembrada, por su valor de producción y por la demanda que tiene. La superficie cultivada en México para el año 2014 fue de 55,374.91 hectáreas con una producción de 2,875,164.08 toneladas y rendimiento medio de 56.42 ton/ha, y para el estado de Oaxaca, se tenía un registro de 761.84 hectáreas cultivadas, de las cuales 369 eran de agricultura protegida para el mismo año.(SAGARPA, 2014).

Dentro de los problemas fitosanitarios están los nematodos fitoparásitos que invaden las raíces formando nódulos o agallas que afectan el crecimiento de las plantas y causan pérdidas de hasta el 100% en los rendimientos (Quiroga-Madrugal et al., 2007). El rápido desarrollo y reproducción de los nematodos en hospederos susceptibles, da lugar a un alto número de generaciones en cada temporada de cultivo de tomate.

Los nematodos noduladores del género *Meloidogyne* comprenden más de 80 especies, con amplia distribución mundial y con un rango de alrededor de 5,000 especies de plantas hospederas (Karssen y Moens 2006).

El ciclo de vida de nematodos del género *Meloidogyne* se divide en seis estadios: el huevo, cuatro estadios juveniles y el adulto, la duración de cada etapa del ciclo depende de las condiciones climáticas y las características de la planta huésped. En general tienen ciclo de vida corto, de 21 a 28 días, completando varias generaciones por año (Coyne et al.,2007).

Meloidogyne spp. es un nematodo endoparásito sedentario, lo que significa que se encuentra dentro del sistema radical. Los juveniles en segundo estadio (J2) pueden también encontrarse temporalmente en el suelo antes de

invadir una planta susceptible. El estadio J2 es el único infectivo del nematodo, es el que se introduce a la raíz con apoyo de su estilete bucal, segregando enzimas y causando cambios morfológicos y fisiológicos del tejido de la planta. Además de los daños causados a las plantas por las agallas formadas, quedan susceptibles a la entrada de otros organismos patógenos, como hongos y bacterias (Bridge y Starr, 2007).

Se han utilizado diversos métodos para el manejo de los nematodos en el cultivo de tomate, como el uso de nematicidas sintéticos, enmiendas orgánicas, variedades resistentes, solarización del suelo y control biológico, los cuales han mostrado diferentes niveles de control (Mohamed et al.,2012). En los últimos 20 años, la utilización de plaguicidas sintéticos ha sido poco recomendado debido a los problemas severos que causan al ambiente, como la contaminación de mantos freáticos, la toxicidad a las aves y mamíferos y la residualidad de algunos de ellos en los productos cosechados (Brand et al.,2010).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Superficie cultivada e importancia de *Solanum lycopersicum* L.

El cultivo de tomate *S. lycopersicum* L. tiene gran importancia mundial y nacional, de las 55,374.91 hectáreas cultivadas en el año 2014 en México, existían alrededor de 20,000 hectáreas cultivadas bajo agricultura protegida, de las cuales 12,000 en invernadero y 8,000 en malla sombra y macrotúnel entre otras estructuras. Los principales cultivos que se producen bajo agricultura protegida son tomate (70%), pimiento (16%) y pepino (10%) (SAGARPA, 2014).

En el estado de Oaxaca, la superficie cultivada de *S. lycopersicum* L., ha ido en aumento, en el año 2011 el Comité Estatal Sistema Producto Tomate, realizó un censo exhaustivo y registró un total de 783 hectáreas cultivadas tanto de riego y temporal, de ellas 369 hectáreas estaban establecidas en agricultura protegida; para el año 2014, se cultivaron 761.84 hectáreas (SAGARPA, 2014).

México se encuentra en el décimo lugar de productores de esta hortaliza en todo el mundo con una producción anual de 3 millones de toneladas; además es el tercer producto más exportado en el país y este cultivo convierte a México en el principal exportador mundial con una cifra de 1.5 millones de toneladas al año, es decir, el 50% de la producción total. (SAGARPA, 2014).

En todos los sistemas de cultivo se manifiestan en cierto grado agentes infecciosos o bióticos: bacterias, nematodos, protozoarios flagelados, virus y viroides, los cuales causan enfermedades importantes; así como factores no infecciosos o abióticos como alteraciones edafo-climáticas y toxicidad por plaguicidas o nutrientes, entre otros. Los nematodos formadores de agallas del género *Meloidogyne* spp. son económicamente perjudiciales en cultivos hortícolas y otros cultivos de campo, causando una pérdida estimada de \$100 billones de dólares a nivel mundial de forma anual (Radwan et al., 2012).

El género *Meloidogyne*, representan un grupo polífago, son parásitos obligados de más de 200 especies vegetales econonómicamente importante como las hortalizas, frutales, ornamentales y otrasl, inducen la re-diferenciación de las células del parénquima en las raíces, en celulas de alimentación multinucleadas e hipertrofiadas. Ellas constituyen una fuente exclusiva de nutrientes para su desarrollo y conducen a la form

interfieren en los flujos de nutrientes y agua, provocando en la planta síntomas de marchitamiento y clorosis, entre otros (Hernández-Ochandía et al.,2012).

2.2. Importancia y distribución de nematodos de plantas

2.2.1. Distribución mundial del género *Meloidogyne* spp.

Se distribuyen todo el mundo y son parásitos obligados de las raíces de miles de especies de plantas. Los nematodos del genero *Meloidogyne* spp. son endoparásitos sedentarios con un amplio número de hospedantes, su estado juvenil j2 es el infectivo que penetra a las raíces y migra hacia el sistema vascular donde inicia las interacciones con las plantas, las células de las plantas experimentan repetidas cariogénesis en respuesta a las secreciones de las glándulas esofágicas, los sitios de alimentación son conocidos como células gigantes que sirven como fuente de nutrientes para ellos y los disminuyen para la planta, las células que se encuentran alrededor de las células gigantes sufren hiperplasia e hipertrofia, las cuales se manifiestan en agallas en las raíces de las plantas (Bhattarai et al.,(2008), dichas secreciones producidas son inyectadas al interior de las células a través de una estructura especializada llamada estilete (Favery et. al.,2016).

Sin embargo, más de 90 especies de *Meloidogyne* se han descrito, donde *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood, *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood, y *Meloidogyne arenaria* (Neal) Chitwood son especies apomícticas y polífagas. Estas tres especies se encuentran en todo

el mundo, por lo general en las zona tropicales y subtropicales, pero también están presentes en áreas más templados, especialmente en los cultivos protegidos (Hunt y Handoo, 2009).

M. incognita habita en climas tropicales y es posiblemente el parásito más dañino de los cultivos a nivel mundial, posee una amplia gama de hospedantes, provocando daños a diversos cultivos. En el caso del cultivo de tomate, se presenta como plaga, tanto en plantaciones cultivadas por los métodos tradicionales, como en las cultivadas bajo tecnologías de sistemas protegidos (Arias et al., 2009).

2.2.2. Distribución nacional del género *Meloidogyne* spp.

En nuestro país se encuentra ampliamente distribuido, Cid del Prado, et al.,(2001), realizaron muestreos en 47 localidades de manera aleatoria ubicadas en 18 estados de México, incluyendo el estado de Oaxaca, durante el ciclo agrícola 1995, en cultivos básicos, hortalizas, frutales y ornamentales obteniendo un resultado de 60.7% de las muestras analizadas con presencia de *Meloidogyne incognita*, el 21.4% para *M. arenaria*, el 12.5% para *M. javanica* y un 5.3% para *M. hapla*.

2.3. Ciclo de vida de *Meloidogyne incognita*

Su ciclo de vida comprende: huevo, cuatro estadios juveniles y el adulto. La duración de cada uno de estos estadios difiere en cada especie y depende de otros factores como la temperatura, la humedad y la planta hospedante, Hernández-Ochandía et al.,(2012) encontró que *M. incognita* completa su ciclo de vida (de J2 a hembra adulta con huevos) en 24 días a una temperatura de 18-21°C en cultivo de tomate, indicando además que a los 24 días, las hembras bien desarrolladas son capaces de producir como promedio, medio centenar de huevos por hembra, valor que aumenta por cada día, sobrepasando el centenar a los 27

días. Cabe señalar que el segundo estadio J2 es el móvil e infectivo. El rápido desarrollo y reproducción de estos nemátodos en buenos hospedantes, da lugar a un alto número de generaciones en cada temporada de cultivo.

2.4. Métodos de control utilizados contra nematodos en plantas

2.4.1. Métodos de control de *Meloidogyne incognita*

Los nematodos del nódulo son de los problemas fitosanitarios de mayor dificultad para controlar. Se han utilizado diversos métodos conocidos para su manejo, como el uso de nematicidas sintéticos, enmiendas orgánicas, uso de variedades resistentes, solarización del suelo y el control biológico, los cuales han mostrado diferentes niveles de control en el cultivo de tomate. Debido al uso de plaguicidas que tiene efectos negativos al ambiente y a la salud humana se han desarrollado investigaciones sobre el uso de ciertos productos biológicos (Mohamed et al., 2012).

Collange et al., (2011) clasifican a los métodos de saneamiento en preventivos y de control, los primeros utilizados para evitar infestaciones como: la desinfección de herramientas, manejo del riego, tener cuidado al transportar plantas, semillas, bulbos, cormos, tubérculos, varetas y en métodos de control cuando las infestaciones ya están presentes como: son la inundación del suelo, manejo del riego, eliminación de residuos de plantas, control de malezas, cultivar en períodos específicos, selección adecuada de métodos de labranza, utilización de productos sintéticos, métodos basados en el uso de calor, enmiendas orgánicas, extractos de plantas, control biológico, cada una con características particulares en su aplicación y uso. Indican además dos direcciones en el futuro que deben tomarse en cuenta, primero, mejorar la concepción actual del manejo de plagas, donde se incluyan los nematicidas de origen natural (extractos de planta y control biológico) y adaptar los sistemas de cultivo a cada tipo de suelo, tomando en cuenta sus características químicas y biológicas, con estudios sistemáticos para construir los

indicadores de sanidad del suelo, tomando en cuenta diversos factores como la preservación ambiental.

El impacto de los nematodos en la agricultura puede estimarse también por las estrategias de control empleadas. Sin embargo, en décadas recientes, la utilización de plaguicidas químicos ha sido poco recomendado debido a los problemas severos que causa al ambiente, incluso la contaminación de mantos freáticos, toxicidad a las aves y mamíferos y su acumulación en los alimentos (Brand et al., 2010).

2.4.2. Uso de enmiendas orgánicas para el control de *Meloidogyne incognita*

La utilización de enmiendas orgánicas al suelo es una práctica de cultivo tradicional para mejorar la fertilidad y estructura del suelo, pueden ser aplicadas en sistemas orgánicos o en cultivos sustentables y en agricultura convencional, para reducir el uso de nematicidas sintéticos. Muchos tipos de enmiendas orgánicas han sido evaluados para el control de nematodos, los más comunes son desechos o subproductos de las industrias agrícolas, tales como abonos animales, compostas y residuos de plantas. Uno de los problemas del uso de este método de control para los nematodos es la inconsistencia en el control la cual está altamente influenciada por la enmienda y el tipo de suelo. Entender los mecanismos involucrados en la supresión de nematodos en los suelos enmendados será esencial para mejorar este método y obtener la máxima eficacia en el control (Oka, 2010).

Baños, et al. (2010) explican que entre las alternativas que han venido a ocupar un papel importante en la sustitución de nematicidas sintéticos, destacan el uso de enmiendas orgánicas a base de estiércoles, residuos agroindustriales, restos de cosechas, entre otros y el control biológico, donde a partir de bacterias del género *Pasteuria*, *Bacillus*, *Tsukamurella* y hongos como *Paecilomyces lilacinus*, *Trichoderma* spp. y *Pochonia chlamydosporia* se han obtenido biopreparados de gran eficiencia en su control, entre otros.

Además, se han identificado y evaluado muchas especies de plantas con propiedades nematocidas aplicadas como extractos o como enmiendas al suelo (Oka, 2010., Collange, et al., 2011).

2.4.3. Control de nematodos con organismos biológicos

El control biológico es una estrategia de manejo de plagas de forma ecológica, donde se utilizan la introducción deliberada de enemigos naturales para reducir los niveles de población, los cuales demuestran algunas características de éxito y adaptación en el campo, incluyendo la habilidad de colonizar rápidamente en el suelo, su persistencia, virulencia, control preventivo, fácil producción y aplicación, bajos costos de producción, compatibilidad con otros productos y seguridad (Brand et al., 2010).

Bajo la perspectiva de los modelos agrícola sustentables y como parte del manejo agroecológico de plagas, el control biológico es una técnica que ocupa un papel preponderante en el combate de las mismas, es una estrategia de control de plagas en las que se utilizan enemigos naturales, antagonistas o competidores vivos u otras entidades bióticas inocuas capaces de mantener la densidad de población de un organismo plaga a un nivel que no cause daños relevantes y mantenga la sustentabilidad de los agroecosistemas (Badii y Abreu, 2006).

2.4.4. Utilización de hongos, bacterias y levaduras para el control de *Meloidogyne incognita* en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* L.

El hongo entomopatógeno *P.lilacinus* es comúnmente utilizado como control biológico en el campo. Su habilidad entomopatógena no sólo se origina únicamente por su alta capacidad quitinolítica, también de su capacidad quitosanólítica. Las capacidades de posesión quitinolítica y quitosanólítica se ha

observado en varios organismos. Varios de estos son agentes nativos de biocontrol. Sin embargo, es poco frecuente encontrar un microorganismo tal como *P.lilacinus* que posea las cuatro de estas enzimas: quitinasa, N-acetilglucosaminidasa, quitosanasa, andexo-d-Glcnasa, las cuales hacen a *P.lilacinus* un hongo entomopatígeno popular para probar en condiciones de campo (Cheng et al., 2013).

En las investigaciones de Lal y Rana (2013) sobre los hongos *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viride*, *Gliocladium viren* y *Aspergillus ochraceous* como tratamiento tanto al suelo como en semilla contra *M. incognita* en el cultivo de okra, encontraron a los 45 días después de la inoculación como mejor tratamiento a *T. harzianum*, registrando un incremento significativo tanto en la longitud de brotes como en peso de brotes y raíces a dosis de 10 g/kg semilla; de forma similar las reducciones tanto de masas de huevecillos del nematodo, los huevecillos por masa, reducción de agallas y la población de nematodos activos J2, de forma general fueron buenos en todos los tratamientos y hongos evaluados, siendo los mejores con la inoculación de *T. harzianum* a dosis de 15 g/kg de suelo, seguido de *T.viride* a la misma dosis.

Liriano et al. (2012) encontraron buenos resultados al inocular *Trichoderma* spp. a una dosis de 30 kg/ha en el cultivo de tomate *S. lycopersicum* L., los resultados demostraron que dicho agente biológico constituye una alternativa para el control de *M. incognita* del cultivo bajo condiciones controladas.

Zakaria et al., (2013) utilizaron diferentes aplicaciones del hongo *Verticillium chlamydosporium* 10^7 , la bacteria *Photorhabdus luminescens* CF 100%, y composta con una relación C/N: 1:12.13 a los 15 cm antes del trasplante como enmiendas al suelo bajo condiciones controladas para el control de *M. incognita* en el cultivo de pepino, los resultados indicaron que a los 45 días, el tratamiento con la combinación del hongo *V. chlamydosporium* a 20 ml kg/suelo + la bacteria *P. luminescens* 20 ml por kg/suelo + composta animal, tuvo el mejor resultado

tanto en la reducción efectiva de nemátodos J2, número de agallas, huevecillos por masa, número de huevecillos, considerando que se aplicaron 2000 J2 por planta al inicio y cuya población final se contabilizó en 217 por cada 250 g de suelo; el segundo mejor resultado se observó con el tratamiento de *P. luminescens* + composta animal. La evidencia de sus resultados mostró que la incorporación de enmiendas orgánicas al suelo aumentó los microorganismos antagonistas y por consecuencia el control biológico de los nematodos.

Otro tipo de organismos evaluados para el control de *M. incognita* ha sido *Lecanicillium* (= *Verticillium*) *lecanii*. Guevara et al., (2013) determinaron el efecto de un producto comercial que posee como ingrediente activo metabolitos obtenidos a partir de los efluentes de la fermentación líquida del hongo formulado con sulfato de amonio; los resultados corroboraron la acción nematocida del producto provocando mortalidad de los estados juveniles del nematodo en un 94% a una concentración de 18.75 mg.ml⁻¹, afectando además la eclosión de los huevecillos en un 90%.

Otras alternativas para el control del nematodo nodulador *M. incognita* en el cultivo de tomate en condiciones de cultivo organopónico han sido la bacteria *Bacillus thuringiensis* cepa LBT-3 a 20 g.m⁻²; donde se reporta una efectividad de 96.67%, seguido del hongo *Trichoderma viride* cepa C-66 a 20 g.m⁻² con 88.33 %, sin embargo; mayores rendimientos se han obtenido con *T. viride* a 4.8 kg m⁻², con 27.08% de incremento respecto al testigo. Leyva et al.,(2011).

2.4.5. Interacciones de hongos de micorriza arbuscular y rizobacterias para el control de nematodos formadores de agallas en hortalizas.

Vos et al., (2012) estudiaron la interacción entre el hongo de micorriza arbuscular *Glomus mosseae* y dos especies de nematodos, *M. incognita* y *Pratylenchus penetrans* en el cultivo de tomate *S. lycopersicum* L. bajo condiciones controladas, confirmaron la resistencia inducida por la micorriza contra ambos nematodos, así

como la reducción de las poblaciones de las mismas en las raíces micorrizadas, con una reducción de 45% en el caso de *M.incognita* y 87% para *P.penetrans*.

Por otra parte se han descrito múltiples efectos del hongo endofítico y rizosférico *Arthrobotrys oligospora*, incrementando significativamente varias características de las plantas de tomate, aumenta la defensa relacionada a las moléculas, enzimas y muestra un potencial biocontrol de *M. incognita*: además se incrementa la calidad nutricional de los frutos de tomate *S. lycopersicum* L. maduros (nutrientes minerales y propiedades antioxidantes); los resultados indican que la aplicación no sólo ayuda al control de nematodos sino que funciona como agente promotor de crecimiento de las plantas (Singh et al.,2012).

En otro estudio realizado por Yaqub et al.,(2012), evaluaron la interacción de *P. lilacinus* a 1g/10 ml y la rizobacteria promotora de crecimiento *Bradyrhizobium* 1g/10 ml, sobre el crecimiento de garbanzo *Vigna mungo*. Los tratamientos con *Bradyrhizobium* incrementaron significativamente el contenido de nitrógeno de raíces y brotes. La aplicación de *Bradyrhizobium* y *P. lilacinus* antes o simultáneamente con la inoculación de nematodos disminuyó la tasa de multiplicación de nematodos y el desarrollo de agallas en las raíces que cuando la bacteria y el hongo se aplicaron 10 días después de la inoculación de los nematodos, concluyeron que los inoculantes microbianos pueden ser utilizados como componentes en propuestas de manejo integrado de enfermedades y cambiar la dinámica poblacional de organismos microbianos en la rizosfera, así como las combinaciones apropiadas de agentes de biocontrol pueden favorecer el incremento del crecimiento de las plantas y su resistencia a patógenos.

III.-ANTECEDENTES

Hashem y Abo-Elyousr (2011) explicaron el efecto nematocida de la bacteria *Pseudomonas fluorescens*, el hongo *P. lilacinus*, la levadura *Pichia guilliermondii* y la cianobacteria *Calothrix parietina*, solos y en combinación contra el nematodo *M. incognita*, cuyos resultados demostraron que la aplicación de los diferentes agentes de control biológico, no sólo tiene un efecto letal sobre los nematodos, sino que también mejoran el crecimiento de la planta de tomate, ayudan al suministro de muchos elementos nutricionales y la inducción de la resistencia sistémica en las plantas, reportaron como mejor tratamiento a *P. fluorescens* 10^8 CFU ml^{-1} , seguido de *P.lilacinus* 10^5 CFU ml^{-1} y *P. guilliermondii* 10^8 CFU ml^{-1} ; sin embargo, encontraron que la presencia de *C. parietina*, cianobacteria habitante suelo puede antagonizar los agentes de biocontrol conduciendo a la reducción de su eficacia en el suelo.

Anastasiadis et al., (2008) reportaron la eficacia de *P. lilacinus* tanto sólo como en combinación con *Bacillus firmus* contra huevecillos de *Meloidogyne* spp en el cultivo de tomate de invernadero, inoculados 14 días antes del trasplante, con un porcentaje de control de 58% y 66% respectivamente, observaron que *P. lilacinus* es capaz de controlar poblaciones de nematodos agalladores a bajos niveles de infestación; sin embargo, la combinación de ambos agentes redujeron el número de nematodos en las raíces significativamente, sugieren que la aplicación de *P. lilacinus* en cultivo de tomates cultivado en invernadero puede ser efectivo sólo o cuando se usa en combinación con otras herramientas de manejo como la solarización de los suelos. Menciona que existen además otras investigaciones que reportan a la bacteria *B. firmus* como efectiva contra *M. incognita*, *M. hapla*, *Heterodera* spp. *Tylenchulus semipenetrans*, *Xiphinema index* y *Ditylenchus dipsaci*.

Terefe et al.,(2009) probaron una formulación comercial (BioNem) a base de la bacteria *B. firmus* contra el nematodo formador de agallas *M. incognita* en

laboratorio, invernadero y vivero bajo condiciones controladas, en sus pruebas de laboratorio a concentraciones de 0.5%, 1%, 1.5% y 2% de la suspensión acuosa de BioNem, redujeron la eclosión de huevecillos en un 98% a 100% a los 24 días después del tratamiento; en tanto que en invernadero el BioNem aplicado a 8 g por maceta de 1200 cc de suelo en plantas de tomate redujo la formación de agallas en un 91%, la población final de nemátodos en un 76% y el número de huevecillos en 45%, incrementando además la altura y la biomasa de la planta a los 50 días después del tratamiento, los resultados indicaron que la bacteria es un microorganismo prometedor para el control biológico de *M. incognita* en el cultivo de tomate *S. lycopersicum* L.

Por su parte, la aplicación de *Bacillus subtilis* a una dosis de 0.5 g de producto comercial en plantas de tomate *S. lycopersicum* L. cultivadas en condiciones de invernadero, aumento la biomasa de la parte aérea de las plantas, redujo la formación del número de agallas en las raíces y la reducción de formación de masas de huevecillos en la raíz, lo cual lo representa como un producto potencial en el manejo integrado de *Meloidogyne* spp en el cultivo bajo condiciones de invernadero (Araújo y Poletto, 2009).

Radwan et al.,(2012), evaluaron cuatro bioproductos comerciales a base de *Bacillus. Megaterium*, *Trichoderma álbum* ,*T. harzianum* y concentrado de extractos líquidos alcalinos algas pardas, *Aascophyllum nodosum*, obteniendo resultados muy buenos en el control de *M. incognita* en el cultivo de tomate *S. lycopersicum* L. en condiciones de invernadero, reduciendo eficazmente el número de agallas y juveniles del estadio 2 (J2), y con buen desarrollo del cultivo. Sugieren hacer mayores investigaciones para determinar la eficacia de estos bioproductos a nivel de campo y verificar los resultados mostrados en condiciones de invernadero.

Mohamed et al.,(2012) reportaron la eficacia de las bacterias *B. subtilis*, *B. thuringiensis*, el hongo *P. lilacinus* y el hongo de micorriza *Glomus intraradices* y

Glomus macrocarpium contra *M. incognita* en el cultivo de tomate *S. lycopersicum* L., donde *P. lilacinus* fue el mejor tratamiento al reducir las poblaciones de nematodos del suelo en un 85.2%, seguido por *B. subtilis* con un 82.6% y por *B. thuringiensis* con 80.5%, sin embargo, aunque los dos especies de *Glomus* evaluadas fueron las que registraron la menor reducción de agallas y masas de huevecillos, mejoraron el crecimiento de la planta, por tanto, pueden tomarse en cuenta en el manejo integrado de los nematodos formadores de nódulos.

IV.- OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de agentes biológicos aplicados al suelo sobre el control del nematodo agallador de la raíz *Meloidogyne incognita*, en el rendimiento de tomate *Solanum lycopersicum* cultivadas en tres sistemas: en suelo con bolsas plásticas, en suelo con acolchado plástico y en suelo sin acolchar.

4.2. Objetivos específicos

1.- Determinar el umbral de tolerancia de tomate *Solanum lycopersicum* cultivado en tres sistemas, en macetas, en suelo sin acolchar y suelo con acolchado plástico bajo condiciones semicontroladas, a diferentes cantidades de *Meloidogyne incognita*

2.- Evaluar el efecto de *Paecilomyces lilacinus* y *Bacillus subtilis* para el control de *Meloidogyne incognita* de tomate *Solanum lycopersicum*, en tres sistemas, en macetas, en suelo sin acolchar y en suelo con acolchado plástico bajo condiciones semicontroladas.

V. HIPÓTESIS

Ho: La aplicación de *Paecilomyces lilacinus* y *Bacillus subtilis* al suelo disminuye significativamente la presencia de *Meloidogyne incognita* en su estado juvenil j2, reduce la formación de agallas y mejora el rendimiento de tomate igual o mayor que un insecticida-nematicida de síntesis química.

Ha: La aplicación de *Paecilomyces lilacinus* y *Bacillus subtilis* al suelo no tiene efecto significativo en la reducción de agallas, ni sobre el estado juvenil j2 de *Meloidogyne incognita* y tampoco mejora el rendimiento de tomate como con el uso de un insecticida-nematicida de síntesis química.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El establecimiento de los experimentos se llevó a cabo en el campo experimental del (CIIDIR-Unidad Oaxaca) IPN, México en los años 2014 - 2015. En un invernadero de 250 m² tipo cenital 450/10", con cubierta de polietileno calibre 720, color blanco, 25% sombra y difuso, tratado con rayos ultravioleta, con ventilación lateral y cenital en el centro, con cortinas de apertura manual en ambos lados y malla color gris de 40x25 (micras) (Figura 1), cuyo modelo está diseñado para el cultivo de hortalizas y flores en zonas templadas y semicálidas y para soporte de carga, viento y lluvia bajo condiciones normales. Los muestreos de suelo previos al establecimiento de los experimentos se realizaron en invernaderos de producción de tomate *Solanum lycopersicum* ubicados en los Valles Centrales de Oaxaca.



Figura 1.-Invernadero para la conducción de experimentos CIIDIR-IPN.

6.1. Muestreo de suelos a dos profundidades en invernaderos de producción de tomate *Solanum lycopersicum* L.

Se realizaron 48 muestreos de suelo a dos profundidades, de 0-15 cm y de 15-30 cm en dos momentos diferentes, a los 120 y 160 días después del trasplante del cultivo de tomate *S. lycopersicum* (cv. El Cid F1: Harris Moran Seeds), durante los meses de septiembre y noviembre del año 2014, en 6 invernaderos, con una superficie total de 5,000 m², de producción de tomate con antecedentes de la presencia de nematodos y con la utilización de nematicidas de síntesis química como métodos de control, ubicados en el Distrito de Etna, Valles Centrales, Oaxaca. El objetivo de los muestreos fue determinar la profundidad a la que se encontraban las mayores poblaciones de nematodos juveniles j2 en el suelo y con ello definir la forma de aplicación y muestreos de suelo en los experimentos posteriores en invernadero.

Los sitios muestreados se georeferenciaron con un equipo portátil de sistema de posicionamiento geográfico (GPS) Marca Garmin Etrex Vista y las coordenadas se descargaron en el software MapSource 2008. En cada sitio de muestreo se midió el pH del suelo utilizando un equipo portátil marca Hanna.

6.1.1. Muestreo de suelos por ciclos de cultivo en tomate *Solanum lycopersicum* L.

Tomando en cuenta el número de ciclos de cultivo en las unidades de producción, se llevó a cabo un muestreo aleatorio estratificado, de esta manera, las muestras fueron independientes para cada sitio, en suelos con cultivo de primer ciclo y suelos con tres ciclos consecutivos de cultivo de tomate *S. lycopersicum* con y en cada una se realizó un muestreo aleatorio sistemático tomando cada submuestra a intervalos de 5 m en ambos lados del surco de plantación, se consideraron tres de ellas para formar cada muestra compuesta de 300 g de acuerdo a (Shurtleff et

al.,2000. Las muestras se empacaron en bolsas plásticas y se rotularon para su identificación.

Se tomaron un total de 48 muestras compuestas por las dos fechas de muestreo, 24 en el primer muestreo y 24 en el segundo, de las cuales la mitad de ellas corresponde a cada profundidad y sitio (Tabla 1).

Tabla 1.- Muestras de suelos compuestas tomadas por sitio, por fecha y profundidad para la determinación de poblaciones de nematodos juveniles j2.

Sitio de muestreo	120 ddt *		160 ddt *	
	Profundidad de muestreo (cm)		Profundidad de muestreo (cm)	
	0-15	15-30	0-15	15-30
Suelo con cultivo de primer ciclo	6	6	6	6
Suelo con cultivo de tres ciclos consecutivos	6	6	6	6

*días después del trasplante del cultivo

6.1.2. Extracción de nematodos y huevos de *M. incognita* de suelos muestreados y de raíces.

Cada muestra de suelo fue procesada en el laboratorio de suelos del CIIDIR-IPN, donde se realizó la extracción de los nematodos juveniles J2 de las muestras de suelo utilizando el método de gravedad de (Cobb, 1918) y el conteo por la técnica de (Kaya y Stock, 1997; Alcazar y Cañedo, 2003).

Los huevos *Meloidogyne incognita* se obtuvieron de raíces de plantas de tomate (*S. lycopersicum* cv. El Cid F1, Harris Moran Seed Company) infectadas con más de ocho semanas de edad de invernaderos de producción de tomate en los Valles Centrales de Oaxaca y extraídos por el método de Hipoclorito de sodio de acuerdo a (Hussey y Barker, 1973) y por el método de macerado y filtrado (Hooper et al., 1990) en laboratorio (Figura 2).



Figura 2.-Obtención de inóculo de *M. incognita*. (a) Raíces con agallas por nematodos. (b) Huevos de *M. incognita* extraídos de raíces infectadas.

Se utilizaron 25 g de raíz, se cortaron en trozos de 0.5-1.0 cm y colocaron en un beaker conteniendo 100 mL de agua, y posteriormente se licuó durante 30 segundos el material vegetal licuado se filtró a través de una serie de tamices de números 35, 100, 200 y 400 mesh (micras). Las partículas que retuvieron los tamices de 60 y 100 mesh se desecharon. El precipitado de los huevos retenidos en los tamices números 200 y 400 mesh, se transfirió a un vaso usando una pizeta (Figura 2).

Una vez extraídos los huevos de las raíces se procedió a su cuantificación, utilizando la técnica de (Kaya y Stock, 1997; Alcazar y Cañedo, 2003).

6.2. Determinación del tiempo de eclosión de huevos de *Meloidogyne incognita* en suelos e identificación morfológica de la especie.

Un muestra de huevos extraídos previamente, se incubó para la emergencia de juveniles de segundo estado a $27 \pm 2^\circ\text{C}$ en bandejas de extracción conteniendo agua destilada estéril de acuerdo a (Whitehead y Hemming, 1965) para determinar el tiempo de eclosión (Figura 3) y se realizó la identificación morfológica de *M. incognita* por el sistema de patrón perineal de hembras maduras según Taylor y Sasser (1983).

6.3. Determinación de Umbrales de Tolerancia de tomate *Solanum lycopersicum* a cuatro concentraciones diferentes de nematodos/planta

Se evaluaron cuatro diferentes cantidades de huevos de *M. incognita* por planta en tres sistemas diferentes de cultivo, (cultivo en macetas, cultivo con acolchado plástico, y sin acolchado plástico), (Tabla 2), para determinar la tolerancia de las plantas de tomate *S. lycopersicum*, hasta siete racimos de producción, el ensayo se estableció a partir de la segunda semana del mes de noviembre 2014.

Tabla 2.- Cantidades del nematodo *Meloidogyne incognita* en tres sistemas de cultivo en tomate *Solanum lycopersicum*.

Tratamientos	
T1	1000 huevos de <i>M. Incognita</i> / planta
T2	2000 huevos de <i>M. incognita</i> / planta
T3	3000 huevos de <i>M. incognita</i> / planta
T4	5000 huevos de <i>M. incognita</i> / planta
T5	Suelo sin inoculación de <i>M. incognita</i> / planta

6.4. Evaluación de métodos de control de *Meloidogyne incognita* a base de organismos biológicos en tomate *Solanum lycopersicum* cultivado en tres sistemas de cultivo en condiciones semicontroladas.

En este ensayo se inocularon 5000 nematodos J2/planta de *M. Incognita* y como métodos de control y manejo se evaluaron al hongo *P. lilacinus* y la bacteria *B. subtilis*, (Tabla 3). Una vez realizada la inoculación de huevos de *M. incognita*, a los 20 días después del trasplante se realizó la primera aplicación de los tratamientos, posteriormente, a los 50 y 80 ddt se repitió la aplicación de los tratamientos, excepto para el caso de los tratamientos 5 y 1 (materia orgánica y testigo) que se realizaron por única ocasión a los 20 ddt. La materia orgánica utilizada en este ensayo fue de ganado vacuno compostado por seis meses previamente, incorporándolo al suelo al momento del trasplante en una relación de

1.5 kg planta⁻¹, lo que es lo mismo a 33 ton ha⁻¹, el cual se caracterizó de manera general teniendo valores de pH: 5.8, Conductividad Eléctrica: 1.81, Densidad aparente g cm³: 0.1, Retención de humedad: 60 %, Nitrógeno total: 1.8 %, Materia Orgánica: 3.6%.

Para ambos organismos se prepararon suspensiones de esporas en agua destilada estéril y las inoculaciones se realizaron con una pipeta graduada esterilizada en agujeros alrededor de los tallos de las plantas considerando la profundidad donde se encontraban las raíces, a los 5 cm en la primer aplicación y a los 10 y 15 cm en las siguientes dos reinoculaciones, aplicando a cada planta la cantidad de 45 ml conteniendo la suspensión de esporas. Las temperaturas del suelo se registraron al momento de la aplicación de cada sistema de cultivo.

Tabla 3.- Efecto de agentes biológicos en *Meloidogyne incognita* en tomate *Solanum lycopersicum* bajo invernadero en tres sistemas de cultivo.

Tratamientos	
T1	5000 huevos de <i>M. incognita</i> (Testigo)
T2	<i>Paecilomyces lilacinus</i> a 6.5×10^{13} UFC/g + 5000 huevos de <i>M. incognita</i>
T3	<i>Bacillus subtilis</i> 5×10^9 UFC/g + 5000 huevos de <i>M. incognita</i>
T4	Carbofuran + 5000 huevos de <i>M. incognita</i>
T5	0.1875 kg de Materia Orgánica por kg de suelo + 5000 huevos de <i>M. incognita</i>

6.4.1. Inoculación de huevos de *Meloidogyne incognita*

En ambos experimentos, la inoculación de huevos a todos los tratamientos se realizó a los 10 días después del trasplante por única ocasión con el apoyo de una micropipeta, se hizo a 4 cm de profundidad en agujeros alrededor del tallo de las plantas que tenían un promedio de 19 cm de altura y 4 hojas verdaderas, la aplicación se realizó al final del día para evitar la deshidratación de los huevos. La temperatura del suelo al momento de la inoculación de los huevecillos fue la

siguiente: para el cultivo en bolsas plásticas $26.20^{\circ} \pm 1.57^{\circ}\text{C}$, para cultivo en suelo con acolchado plástico $25.32^{\circ} \pm 0.84^{\circ}\text{C}$ y para cultivo en suelo sin acolchado $24.84^{\circ} \pm 0.531^{\circ}\text{C}$.

6.5. Variables evaluadas en los experimentos de umbrales de tolerancia y métodos de control.

a) Altura de la planta. Se midió con el apoyo de una regla graduada y con un flexómetro, a partir de la base del tallo hasta el ápice de la planta, esta variable se tomó a los 80 y 110 ddt para el caso del experimento de umbrales de tolerancia y a los 50, 80 y 110 días ddt para el experimento de tratamientos de control.

b) Peso fresco de raíz. Se hicieron muestreos destructivos para medir esta variable y con el apoyo de una balanza analítica marca Sartorius, se pesaron las raíces a los 80 y 110 ddt para el caso del experimento de umbrales de tolerancia y a los 50, 80 y 110 días ddt para el experimento de tratamientos de control.

c) Peso seco de raíz. Las raíces muestreadas para cada tratamiento en ambos experimentos se pusieron a secar a 60° en la estufa hasta alcanzar un peso constante, posteriormente se pesaron en la balanza analítica.

d) Peso fresco de parte aérea. Para cada planta muestreada en los tratamientos y para cada experimento, se pesó la parte aérea considerando tanto el tallo como las hojas, este procedimiento se realizó en el mismo tiempo que para el peso fresco y seco de raíz.

e) Peso seco de parte aérea. La parte aérea de cada planta muestreada se puso a secar a 60° en la estufa hasta alcanzar un peso constante, posteriormente se pesaron en la balanza analítica.

f) Índice de agallamiento de raíz. Se utilizó la escala de 0-10, para medir el índice de agallamiento producido por nematodos tipo *Meloidogyne spp.* propuesta por (Bridge y Page (1980), (Figura 3), en las mismas fechas que se tomaron muestras de raíz para cada experimento.

g)

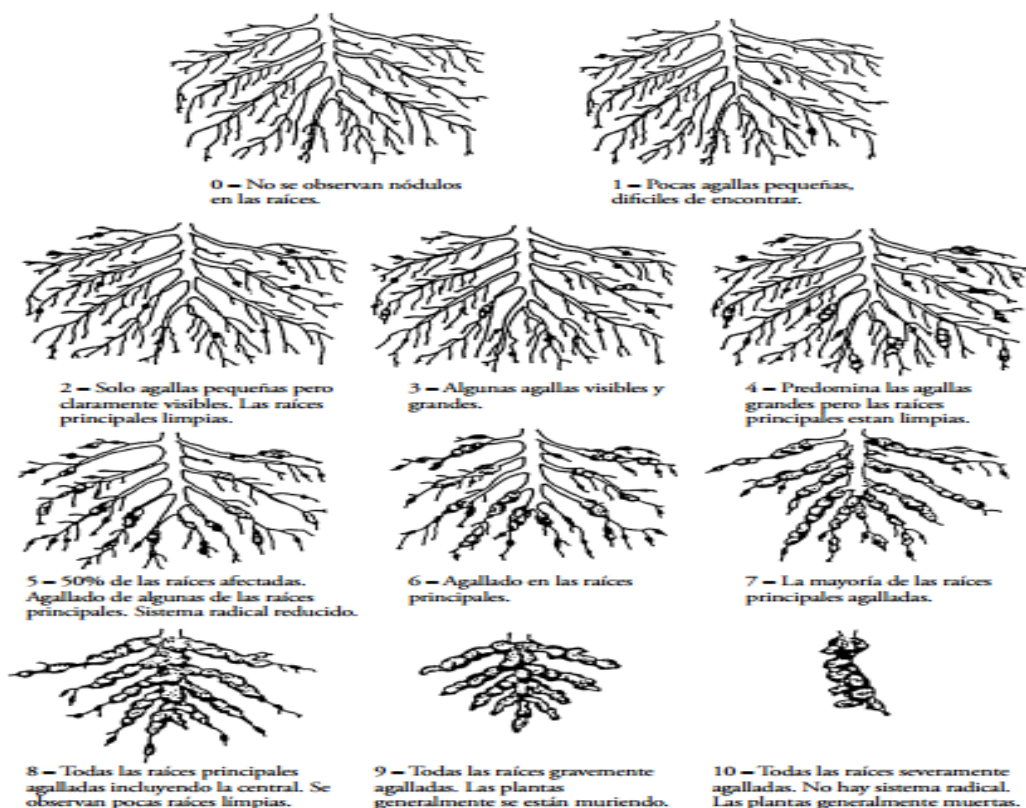


Figura 3. Diagrama del índice de agallas para el nematodo agallador, según John Bridge y Sam Page (1980).

Número de nematodos en suelo. Se tomaron muestras compuestas de 300 g de suelo de la zona rizosférica para cada planta por cada fecha de muestreo y experimento, posteriormente en laboratorio fueron extraídos los nematodos activos en estado juvenil J2 de *M. incognita* por el método de gravedad de (Cobb, 1918) y el conteo se realizó por la técnica de (Kaya y Stock, 1997; Alcazar y Cañedo, 2003).

h) Rendimiento kg /planta. Con el apoyo de una balanza analítica marca Sartorius, se pesaron los frutos producidos por planta en cada tratamiento y para esta variable se consideró el peso total en kg producidos, haciendo la clasificación por tamaño y peso en cada planta. Esta variable se tomó a partir de los 75 días después del trasplante hasta el séptimo racimo en ambos casos. Los frutos se cosecharon en el término rayado 50 % o más de la superficie cubierta por color rosa-rojo, hacia maduro al 100%.

6.6. Diseño experimental

Los tratamientos para ambos experimentos se dispusieron en un diseño completamente al azar, con cinco tratamientos incluyendo al testigo y cuatro repeticiones, con un total de 80 unidades experimentales para cada sistema de cultivo, la unidad experimental consistió en el primer caso en una bolsa de polietileno negra con 8 kg de suelo y una planta de tomate, en los dos sistemas de cultivo siguientes cada unidad experimental fue una planta de tomate.

6.7. Análisis estadístico

Los datos se sistematizaron realizando un análisis de varianza con el apoyo del paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2004) para verificar la diferencia del efecto de cada uno de los tratamientos, se hizo una prueba de comparación múltiple de medias (Tukey $\alpha=0.05$) para conocer la mejor respuesta de los tratamientos en ambos experimentos y análisis correlación de Pearson entre variables.

6.8. Material biológico y manejo del cultivo utilizados en los experimentos.

6.8.1. Organismos biológicos. La cepa del hongo *Paecilomyces lilacinus* utilizada fue proporcionada por el Laboratorio Reproductor de Organismos Benéficos del Sureste S.A. a una concentración de 1.3×10^{13} UFC/g y la bacteria *Bacillus subtilis*, cepa formulada por el Instituto de Biotecnología de la UNAM a una concentración 1×10^9 UFC/g y por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo Unidad Culiacán (CIAD) fue proporcionada por la empresa Agro&biotecnía, S, de R.L.M.I.

6.8.2. Material Vegetativo. Para ambos experimentos (Umbral de Tolerancia y Métodos de control), se utilizaron plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. El Cid F1), las cuales de acuerdo a la información técnica comercial, poseen resistencia a *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*, *Verticillium*, *M. incognita*, *M. arenaria* y a *M. javanica*.

6.8.3. Manejo agronómico del cultivo de tomate *S. lycopersicum* L. en ambos experimentos.

El trasplante se llevó a cabo 25 días después de la germinación de las semillas, cuando estas tenían una altura promedio de 10 cm y utilizando tres sistemas de cultivo: en bolsas plásticas de polietileno negra de 25x35 cm conteniendo 8 kg de suelo; cultivo en suelo con acolchado plástico bicolor (color negro en la parte interna y gris en la parte externa), con orificios para cada planta y cultivo en suelo sin acolchado (Figura 4).



Figura 4.-Sistemas de cultivo. (a) Cultivo en macetas. (b) Cultivo en acolchado plástico. (c) Cultivo en suelo sin acolchar.

El manejo técnico del cultivo fue forma convencional, el suelo se preparó mecánicamente haciendo surcos con una altura de 0.6 m y 0.7 m de ancho, con espacios de 1.0 m entre surcos, se colocó una planta cada 30 cm a una hilera por surco. Las bolsas conteniendo una planta cada una, también se separaron entre

ellas a la misma distancia. Las plantas se guiaron a un solo tallo, se hizo el tutoreo y podas de brotes axilares y eliminación de hojas por debajo del primer racimo cuando los frutos habían alcanzado la madurez fisiológica.

Para el control de plagas se realizaron aplicaciones preventivas periódicas conforme al monitoreo realizado en las hojas durante el desarrollo del cultivo utilizando un insecticida orgánico a base de azadiractina a una dosis de 1.5 ml L^{-1} de agua, también productos a base de oxiclورو de cobre y mancozeb a dosis de 2.5 g L^{-1} de agua para la prevención de enfermedades fungosas foliares.

No se aplicaron productos nematocidas adicionales de algún otro tipo, con la finalidad de no interferir en la dinámica poblacional y tasa reproductiva de los nematodos y para no alterar la función de los tratamientos evaluados.

6.8.3.1. Solución nutritiva

Para el aporte de nutrientes a las plantas se utilizó de manera general para todos los tratamientos de ambos experimentos, la solución nutritiva Steiner (1984) a 2 dSm^{-1} de conductividad eléctrica, la cual se complementó con micronutrientes, ésta solución se aplicó al 25% a partir de los 10 días después del trasplante (ddt), hasta los 20 ddt considerando que la planta ya estaba establecida en cada sistema de cultivo, de los 20 ddt hasta los 40 ddt se suministró al 50%, y posteriormente al 100%, el pH se mantuvo en un rango de 5.5 a 6.0.

Las fuentes de fertilizantes que se usaron para preparar las soluciones nutritivas fueron las siguientes: Nitrato de Calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), Nitrato de Potasio ($\text{KNO}_3, \text{K}_2\text{SO}_4$), Sulfato de Magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), Ácido Fosfórico (H_3PO_4), Ácido Bórico (H_3BO_3), Sulfato de Manganeso ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), Sulfato de Zinc ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), Tetraborato de Sodio (Bórax) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10(\text{H}_2\text{O})$ y Sulfato Ferroso $\text{Fe SO}_4 \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$.

La aplicación de la solución nutritiva se realizó por un sistema de riego por goteo, empleándose emisores de 4 L h^{-1} , de los cuales se distribuyó el agua en goteros cada 20 cm por cada línea de conducción (Figura 5-a).



Figura 5.-Sistema de riego y control de humedad en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* L. (a) Riego por goteo. (b) Tensiómetro para control de humedad del suelo.

La cantidad de agua de riego fue en función de la demanda por la etapa de desarrollo de la planta, manteniendo siempre una humedad constante la cual se monitoreo con el apoyo de un tensiómetro (Figura 5-b) colocado en la línea de cada sistema de cultivo para registrar los valores de humedad del suelo y determinar la lámina de riego. La duración de los riegos estuvo en función del monitoreo constante.

6.8.3.2. Temperatura y humedad relativa del medio ambiente, dentro del invernadero.

Dentro del invernadero, se instalaron dos equipos HOBO® Pro V2 (Figura 6) para verificar la temperatura y/o humedad relativa dentro del invernadero y tener un buen desarrollo del cultivo durante el periodo experimental.



Figura 6.-Equipo HOBO® Pro V2 instalado para la medición de temperatura y control de humedad relativa en invernadero.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIONES

7.1. Comportamiento de la población de nematodos a dos profundidades de suelo en invernaderos de producción de tomate *Solanum lycopersicum*.

Para el primer muestreo de suelo realizado a los 120 ddt, a dos profundidades, de 0-15 cm y de 15-30 cm, la cantidad de nematodos juveniles j2 en muestras de suelo fueron menores a los 500/300 g de suelo, en sitios ya sea cultivados con un ciclo o tres ciclos consecutivos no mostraron diferencia estadística significativa (Figura 7); sin embargo, para el muestreo realizado a los 160 ddt a las mismas profundidades señaladas en el primer muestreo, la población de nematodos encontrados superaron a los 2000 nematodos/300 g de suelo, los sitios cultivados con tres ciclos consecutivos tampoco mostraron diferencia estadística con respecto al terreno con un solo ciclo de cultivo de tomate *S. lycopersicum* L., lo cual indica que el número de ciclos no es determinante pero si lo es la edad de la planta, la cantidad de nematodos es mayor conforme avanza la etapa fenológica del cultivo (Figura 8).

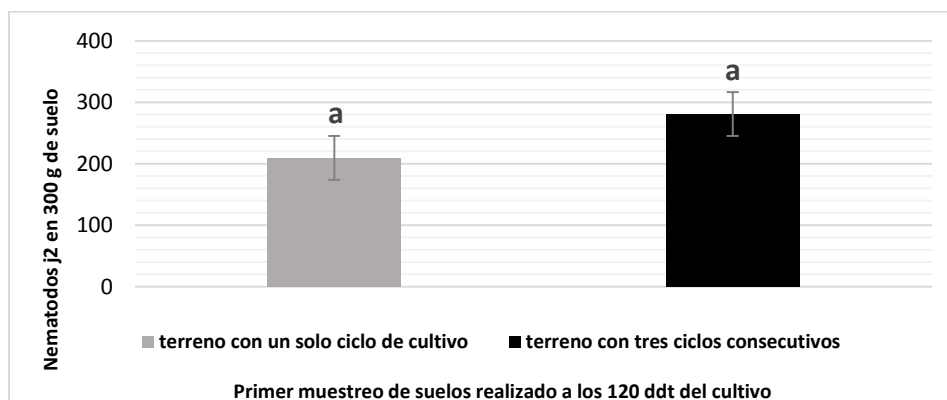


Figura 7. Nematodos juveniles j2 encontrados a los 120 días ddt del cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* L. en dos usos de suelo.

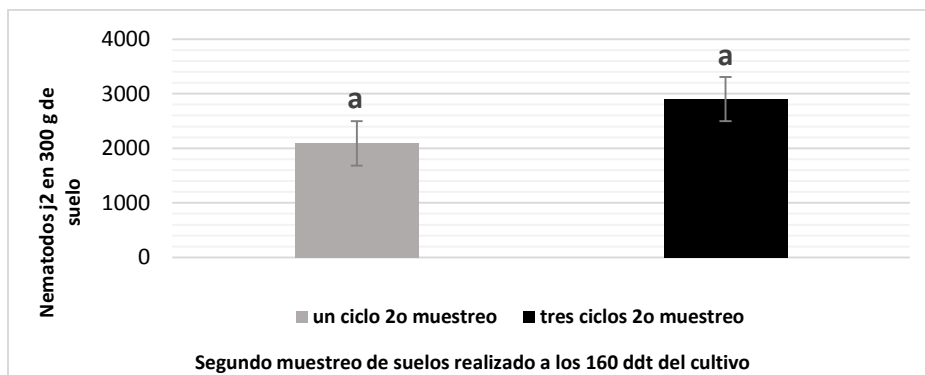


Figura 8. Nematodos juveniles j2 encontrados a los 160 días ddt del cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* L. en dos usos de suelo.

Estos resultados coinciden parcialmente con muestreos de suelo realizados por Zalazar y Guzmán-Hernández (2013) quienes encontraron las mayores promedios poblacionales de nematodos de 1960 a 1282 individuos en 100 g de suelo en plantaciones de tomate utilizadas de manera continua y además afirman que existe una correlación positiva y lineal de las poblaciones de nematodos formadores de agallas, con las etapas fenológicas del cultivo, al igual que lo señalan Cadet et al.,(2005) al considerar que las poblaciones de nematodos aumentan de manera proporcional a la disponibilidad de alimentos de sus hospederos y que está influenciado además porque las plantas adultas con sistemas radiculares extensos proveen más alimentos y refugio a los nematodos que las plantas más jóvenes.

Considerando la profundidad de muestreo, los resultados mostraron que éste factor es determinante, ya que la mayor cantidad de nematodos juveniles activos j2 de *M. incognita* encontrados fue estadísticamente mayor en 0-15 cm tanto en el primer muestreo (120 ddt) como en el segundo (160 ddt) y también para los sitios cultivados tanto con un sólo ciclo de cultivo como en tres (Figura 6); estos resultados pueden deberse principalmente a la biología de *M. incognita* por ser un endoparásito sedentario que requiere forzosamente de la presencia de raíces para completar su ciclo de vida, como lo afirman Cadet et al.,(2005) al señalar que existe una relación estrecha de los nematodos fitoparásitos con el hospedero el cual les provee de alimento y todas las condiciones favorables para su desarrollo.

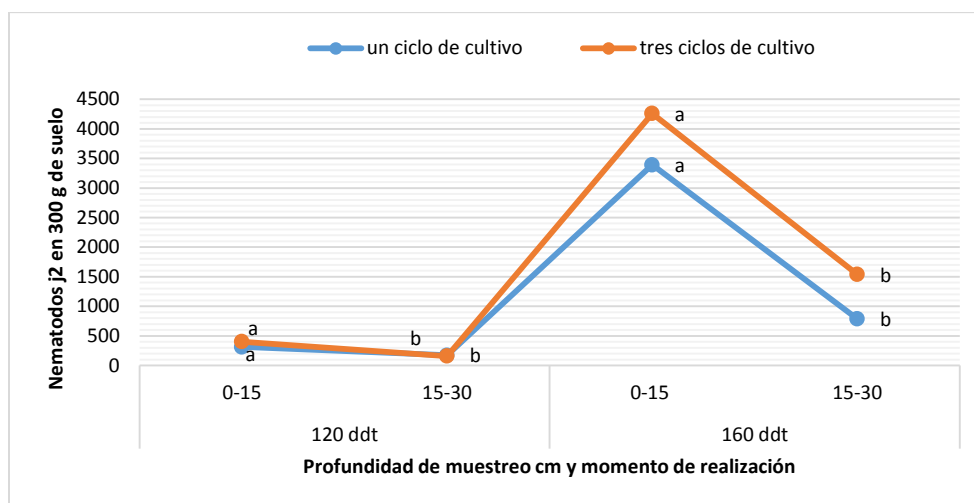


Figura 9. Promedio de nematodos J2 en muestra de suelo a dos profundidades y en dos fechas en tomate *Solanum lycopersicum* por uno y tres ciclos consecutivos.

Para la profundidad de 15-30 cm, la cantidad de nematodos encontrados fue estadísticamente menor, considerando ambos factores ya sea fecha de muestreo o ciclos de producción (Figura 9).

Las profundidades de muestreo utilizadas para la determinación de cantidades de nematodos presentes tienen fundamento en estudios realizados por Ou et. al., (2005) quienes investigaron la distribución vertical de nematodos en suelo en diferentes tipos de suelo y usos concluyendo que más del 82 % de los nematodos del suelo se encuentran en profundidades de 0-30 cm y que las cantidades están directamente correlacionadas con el contenido de carbono orgánico, nitrógeno y fósforo total en cualquier uso del suelo.

7.2. Tiempo de eclosión de huevos de *Meloidogyne incognita* en laboratorio e identificación.

El tiempo promedio de eclosión de los huevos de *M. incognita* extraídos de raíces infectadas e incubados a $27 \pm 2^\circ\text{C}$ en laboratorio fue de 7-10 días, esto se comprobó al repetirlo por tres veces en condiciones similares, además se identificó

la especie de *M. incognita* por claves morfológicas y por el sistema de patrón perineal de hembras maduras (Figura 10).



Figura 10.-Emergencia del estado juvenil j2 de *M. incognita*. (a) Huevo en estado embrionario. (b) Estado j1 de *M. incognita*. (c) Nematodo en estado j2 de *M. incognita* después de haber eclosionado.

7.3. Umbrales de tolerancia de tomate *Solanum lycopersicum* a cuatro concentraciones diferentes de nematodos/planta.

Para la variable altura en los tres sistemas de cultivo evaluados, los valores más bajos se registraron para ambas fechas de muestreo en el tratamiento 4 inoculado con 5,000 huevos de *M. incognita* con respecto al tratamiento testigo T5 cuyo crecimiento fue mayor en un 6.9% (Tabla 4), este efecto de disminución de la longitud de las plantas es afirmado por Karssen y Moens (2006), quienes refieren una baja absorción de nutrientes y agua por las raíces, además por la movilización y acumulación de productos de fotosíntesis de los brotes a las raíces alcanzando los niveles máximos cuando las hembras adultas inician la ovoposición.

A los 50 ddt, los tratamientos 1,2 y 3 no mostraron diferencias estadísticas entre sí, esto indica que las plantas en crecimiento activo toleran hasta 3,000 nematodos/planta las plantas sin verse afectadas en su altura (Tabla 4); esto puede ser explicado de acuerdo al modelo de Seinhorst, que explica que la altura de las plantas en presencia de bajas poblaciones de nematodos tienen dos efectos sobre ellas, uno de estimulación y otro de inhibición o reducción, es decir que a bajas densidades, la planta es capaz de reparar el daño causado por los nematodos fitoparasitos y aún estimular su crecimiento (Seinhorst, 1965).

Sin embargo, en el muestreo realizado a los 110 ddt, se observó que debido a la multiplicación de los nematodos y afectación en las raíces, a los 3,000 huevos inoculados (T3) la altura de las plantas se afectó negativamente en un 3.5% a diferencia del testigo (T5) (Tabla 4), este efecto fue observado por Niño et al.,(2008) en un estudio realizado en *Physalis peruviana*, especie frutícola de la familia solanácea quien al realizar inoculaciones iniciales de 100, 200, 500 y 1,000 larvas j2 de *Meloidogyne hapla*/100 cc de suelo, no encontraron diferencias entre tratamientos durante los primeros muestreos a los 45 y 245 días; y que el mayor efecto negativo sobre la altura fue con 500 hasta los siete meses, de forma similar Kumar y Khanna (2006) encontraron en un ensayo realizado con *M. incognita* en tomate, que el incremento en la población inicial de nematodos, causa una reducción significativa en la altura de las plantas cuando éstas alcanzan su madurez.

Tabla 4.-Efecto de *Meloidogyne incognita* a diferentes concentraciones en tomate, en tres sistemas de cultivo, sobre altura, peso fresco y seco de raíz.

Trat.	50 días*					110 días*				
	Altura (cm)	Peso de raíz (g)		Peso foliar (g)		Altura	Peso de raíz (g)		Peso foliar (g)	
		Peso fresco	Peso seco	Peso fresco	Peso seco		Peso fresco	Peso seco	Peso fresco	Peso seco (g)
T1	133.1 ± 3.9 ab	67.3 ± 14.2 ab	35.1 ± 7.2 bc	285.0 ± 34.2 ab	74.5 ± 7.5 a	236.3 ± 5.7 a	135.5 ± 18.6 a	73.75 ± 2.9 ab	686.6 ± 95.0 ab	98.7 ± 8.5 b
T2	132.8 ± 3.6 ab	65.4 ± 7.4 b	36.9 ± 6.1 ab	285.3 ± 40.6 ab	67.6 ± 5.4 ab	231.37 ± 5.5 ab	121.2 ± ab	65.5 ± 19.5 bc	616.1 ± 72.9 ab	91.0 ± 8.9 bc
T3	130.6 ± 7.7 ab	57.4 ± 4.3 b	29.2 ± 5.6 bc	265.9 ± 32.7 ab	61.7 ± 7.14 b	229.1 ± 5.2 b	120.3 ± 16.6 ab	59.5 ± 3.8 c	581.2 ± 80.2 ab	83.8 ± 7.0 c
T4	125.3 ± 7.9 b	59.9 ± 7.3 b	26.7 ± 8.5 c	238.5 ± 35.6 b	66.8 ± 13.7 ab	221.2 ± 4.4 c	104.7 ± 16.4 b	57.2 ± 6.9 c	554.5 ± 113.9 b	84.6 ± 11.3 bc
T5	134.7 ± 5.4 a	78.6 ± 4.6 a	45.7 ± 7.2 a	293.7 ± 36.2 a	78.4 ± 4.4 a	237.6 ± 3.0 a	145.8 ± 19.3 a	80.6 ± 9.5 a	717.8 ± 121.6 a	114.6 ± 12.7 a

Valores en cada columna seguidos por letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos, Tukey (0.05).

T1=1,000 *, T2=2,000 *, T3=3,000 *, T4=5,000 *, T5=testigo sin aplicación.

* huevos de *Meloidogyne incognita*

Con respecto al peso de raíz, los resultados muestran diferencias estadísticas a los 50 ddt, el peso seco de raíces se ve afectado en un 41.5% a los 5,000 huevos inoculados (T4) y a los 110 días se afecta en un 26.1% a los 3,000 huevos

inoculados/planta. En cuanto al peso fresco de raíces, a los 50 días se observó diferencia estadística a partir de los 2,000 nematodos inoculados y la afectación es en un 16.7% a partir de dicha cantidad hasta 23.7% con 5,000 nematodos/planta con respecto al testigo (T5); en tanto que para el muestreo a los 110 días para esta misma variable, hubo diferencia estadística con respecto al testigo (T5) sólo con el T4 inoculado con 5,000 nematodos/planta, lo que indica la respuesta y tolerancia de la planta a esta cantidad de nematodos y la afectación fue en un 28.1% (Tabla 4), resultados similares fueron reportados por Maleita et.al (2012) al observar una reducción en los parámetros de crecimiento en diferentes genotipos de tomate inoculando 2,500, 5,000 y 10,000 huevos de *M. hispánica* y *M. javanica*.

Para el peso fresco foliar, tanto a los 50 como a los 110 días, los resultados de los muestreos indicaron diferencias estadísticas únicamente con la inoculación de 5,000 nematodos/planta (T4) con respecto al testigo (T5), los tratamientos 1, 2 y 3 no mostraron diferencias estadísticas significativas, no obstante, para el peso seco foliar, en ambas fechas de muestreo el valor más bajo se observó en el T3 (3,000 nematodos/planta) (Tabla 4), esto coincide con Sharma y Sharma, (2015) quienes afirman que con el incremento de los niveles de inóculo, la absorción, traslocación y la tasa fotosintética disminuye y este daño causado por los nematodos es directamente proporcional a la cantidad de juveniles en estado j2, los cuales penetran y se establecen en las raíces y con Mekete et al., (2003) quienes observaron que una alta población inicial de *Meloidogyne* spp. genera un efecto adverso sobre el peso de las plantas.

En resumen, el tratamiento con 5,000 y 3,000 nematodos/planta presentaron los menores alturas, menores pesos de la raíz y menores pesos foliares respecto a todos los demás tratamientos, lo cual nos sirve como un indicador que al encontrar estas cantidades de nematodos por planta o en 300 g de suelo, se debe aplicar algún método de control para poder disminuir poblaciones de nematodos *M. incognita* en el cultivo de tomate *S. lycopersicum*.

Para la variable índice de agallamiento, obtenida en muestras de raíz en los muestreos destructivos realizados a los 50 y 110 ddt se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos T1 (1,000 nematodos) y T5 testigo, con respecto a los tratamientos T3 (3,000 nematodos) y T4 (5,000 nematodos) con la mayor cantidad de agallas, se puede observar que la formación de agallas se va incrementando conforme la edad del cultivo de tomate *S. lycopersicum* avanza (Tabla 5).

Tabla 5. Índice de agallamiento en raíz según escala Bridge y Page (1980) de nematodos en muestras de suelo en tomate *Solanum lycopersicum*

Tratamientos	50 días*		110 días*	
	Índice de agallas en raíz	Población de nematodos (300 g de suelo)	Índice de agallas en raíz	Población de nematodos (300 g de suelo)
T1	1.12 ± 0.83 b	1442.5 ± 464.8 b	2.62 ± 1.18 b	1636.3 ± 320.5 c
T2	2.0 ± 0.53 ab	2188.1 ± 315.0 b	3.62 ± 0.91 b	3388.8 ± 739.2 b
T3	2.25 ± 0.70 a	3485.6 ± 1096.6 a	6.25 ± 1.03 a	5917.5 ± 638.7 a
T4	2.37 ± 1.06 a	3536.3 ± 1088.38 a	6.87 ± 0.6 a	6692.5 ± 653.4 a
T5	0.00 ± 0.0 c	0.0 ± 0.0 c	0.00 ± 0.0 c	0.00 ± 0.0 d

Valores en cada columna seguidos por letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos, Tukey (0.05).

T1=1,000 *, T2=2,000 *, T3=3,000 *, T4=5,000 *, T5=testigo sin aplicación.

* huevos de *Meloidogyne incognita*

Resultados similares fueron encontrados por Sharma y Sharma, (2015) al obtener un índice menor a 5 en su escala (menos del 75% de las raíces agalladas) en muestreos realizados a los 30 días y reporta que a mayor cantidad de nematodos j2, el desarrollo de las raíces disminuye debido a la alta infección y la formación de más de 75% de agallas en las raíces, por su parte Mekete et al.,(2003) evaluaron diferentes densidades poblacionales de *M. javanica* en el cultivo de chile y tomate observaron que la severidad de agallamiento de las raíces incrementó con el nivel de inóculo, confirmando el alto potencial de daño del nematodo y su alta capacidad de reproducción en ambos cultivos.

Respecto al número de nematodos a los 50 ddt, dos tratamientos presentaron los mayores incrementos, el tratamiento T1 con un 44.2 % y T3 con un 16.1 % a los

110 ddt todos los tratamientos incrementaron la cantidad de nematodos, encontrando tres tratamientos con poblaciones mayores del 60 % a los inoculados inicialmente, aumentando el T1 en un 63.6 %, T2 en un 69.4 % T3 en un 97.2 %. Esto indica que la edad del cultivo y el no hacer aplicaciones de algún método de control en estas fechas, son factores determinantes para el incremento de poblaciones de nematodos y nódulos en las raíces del tomate. (Tabla 5), Figura 12).

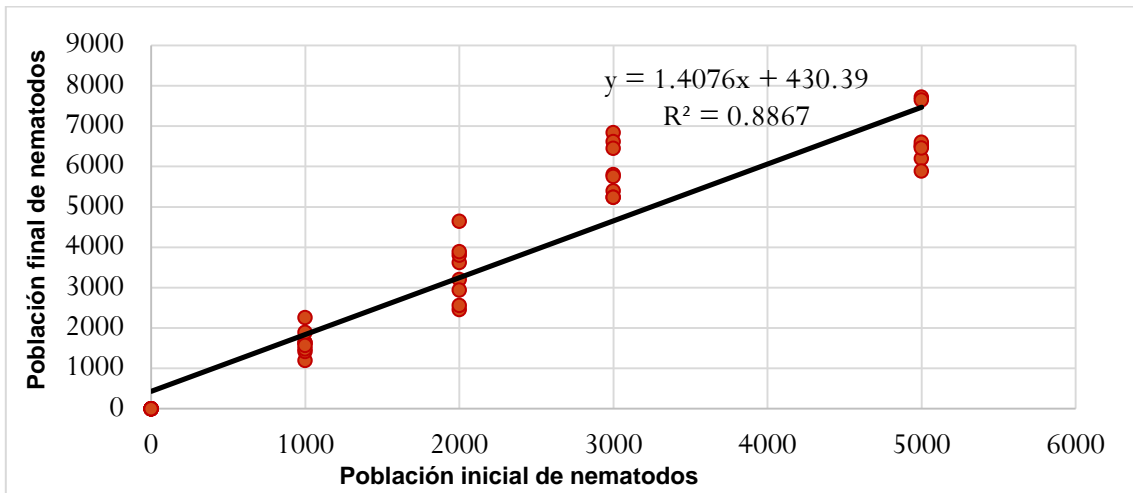


Figura 11- Relación entre la población inicial y final de *Meloidogyne incognita* en el segundo muestreo a los 110 días en tomate cultivado en condiciones semicontroladas.

Existe una correlación positiva de la cantidad inicial de nematodos inoculados con la población final en muestras de suelo, la ecuación indica que por cada huevo de *M. incognita* inoculado, hay un incremento de 1.4076 nematodos en el último muestreo realizado a los 110 ddt, esto coincide con Zalazar y Guzmán-Hernández (2013) al evaluar el efecto de diferentes poblaciones de *Meloidogyne* sp. en el desarrollo y rendimiento de tomate quienes encontraron un incremento de 1.94 nematodos al final del ciclo de cultivo (Figura 11).

Hay una correlación lineal positiva de la cantidad de nematodos juveniles activos j2 encontrados en los muestreos realizados a los 50 y a los 110 ddt con el índice de agallamiento en raíz. Para el muestreo a los 110 ddt el coeficiente de

correlación $r^2=0.8485$ indica la estrecha relación entre estas dos variables, el 84% de la variabilidad en la escala de agallamiento es explicada por la cantidad de nematodos presentes en el suelo y que por cada nematodo presente hay un aumento de 0.0009 en la escala (Figura 12), esto coincide con los resultados encontrados por Charegani et al., (2012) quienes evaluaron el efecto de varias densidades poblacionales de dos especies de *Meloidogyne* sobre el crecimiento de tomate y pepino en invernadero y encontraron que al aumentar las densidades iniciales, incrementó el número de huevos y agallas por gramo de raíz y causó pérdidas en el rendimiento de ambos cultivos.

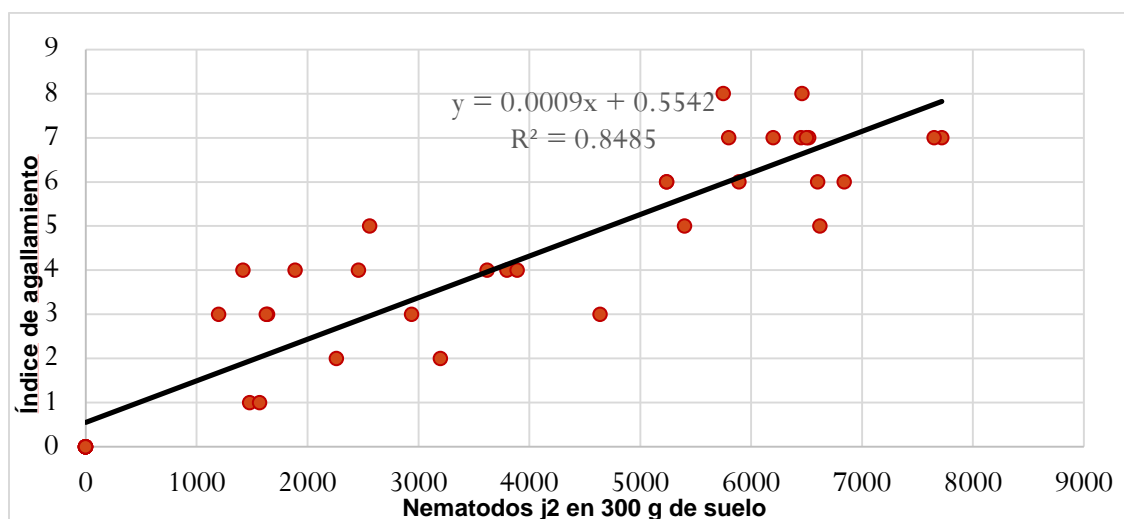


Figura 12.- Relación entre el número de nematodos j2 *Meloidogyne incognita* y el índice de agallamiento, al segundo muestreo a los 110 días.

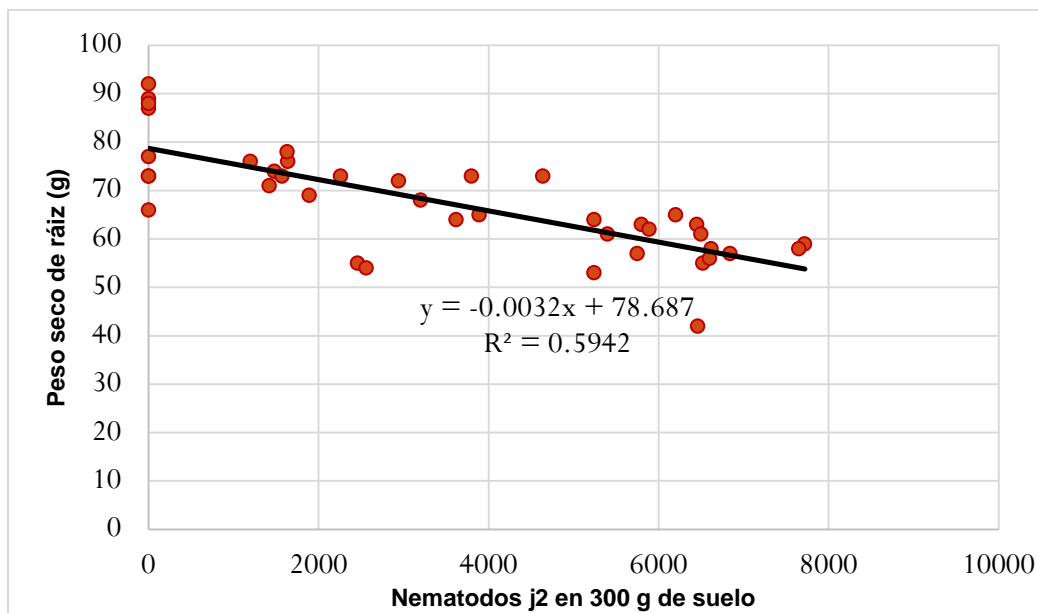


Figura 13.- Relación entre la cantidad de nematodos j2 *Meloidogyne incognita* y peso seco de raíz al segundo muestreo a los 110 días, en tomate cultivado condiciones semicontroladas.

Por otra parte, el peso seco de la raíz de las plantas de tomate *S. lycopersicum*, se reduce en 0.0032 g por cada nematodo presente en el suelo, la ecuación muestra la correlación negativa entre estas dos variables a los 110 ddt (Figura 13). De forma semejante, existe una reducción de 3.3157 g de peso seco de raíz conforme aumenta el índice de agallamiento (Figura 14).

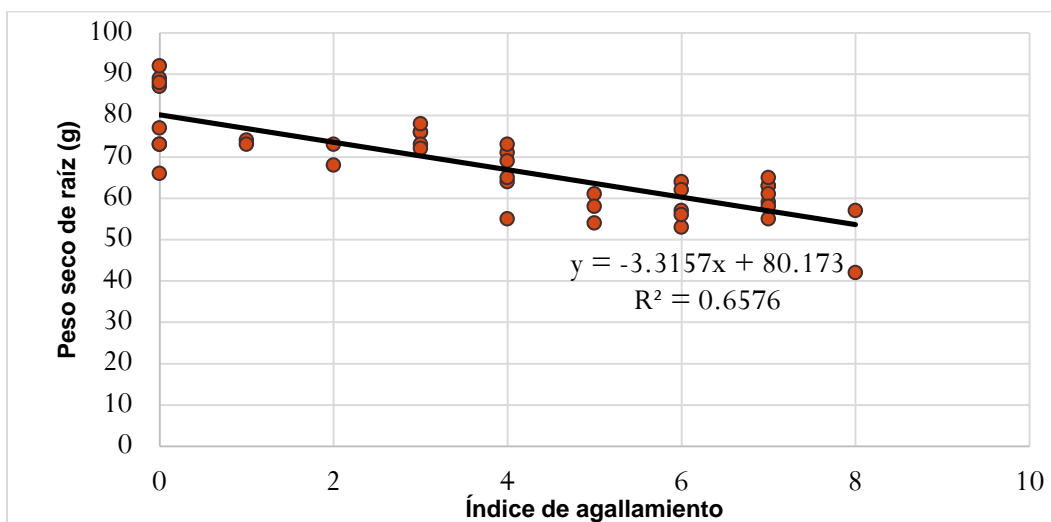


Figura 14.- Relación entre el índice de agallamiento de raíz por el nematodo *Meloidogyne incognita* y el peso seco de raíz al segundo muestreo a los 110 días.

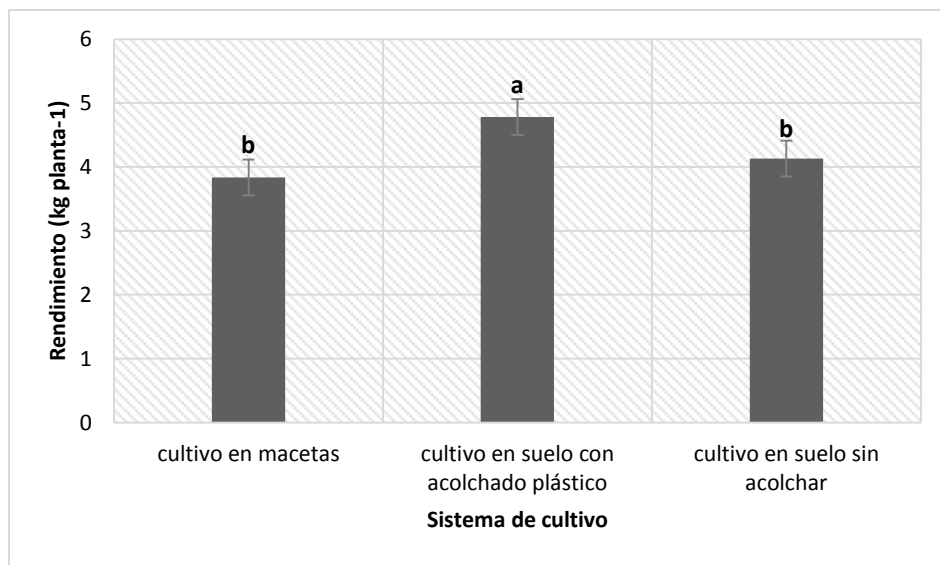


Figura 15.- Efecto de tratamientos de umbrales de tolerancia, sobre el rendimiento de tomate cultivado en tres sistemas de cultivo en condiciones semicontroladas.

Por otra parte, los mejores rendimientos fueron observados en el sistema de cultivo de tomate fue con acolchado plástico, con un promedio de 4.78 kg planta⁻¹, a diferencia del cultivo establecido en suelo sin acolchar y en macetas plásticas con (4.13 y 3.83 kg planta⁻¹ respectivamente), los cuales fueron estadísticamente iguales. Por planta hay una disminución o pérdida en rendimiento de 0.65 kg /planta de tomate cuando se establece el cultivo en suelo sin acolchado plástico y de 0.95 kg/planta cuando se siembran en macetas, esto respecto al cultivo en suelo con acolchado plástico (Figura 15).

Con respecto al rendimiento por tratamientos, la cantidad de nematodos determinó el rendimiento por planta y por sistema, el T1 (1,000 huevos/planta) y T2 (2,000 huevos/planta) fueron estadísticamente iguales, con registros de 5.2 y 4.74 kg planta⁻¹ y el T3 (3,000 huevos/planta) y T4 (5,000 huevos/planta), con 3.59 y 3.50 kg planta⁻¹ cada uno, los cuales registraron los menores rendimientos a diferencia del T5 testigo con 5.94 kg planta⁻¹, esto indica que existe una reducción de 0.74 kg planta⁻¹ con la presencia de 1,000 huevos/planta al inicio del cultivo, hasta 2.44 kg planta⁻¹ con la presencia de 5,000 huevos/planta, hecho que indica que la presencia de nematodos en el cultivo de *S. lycopersicum* afecta el rendimiento

desde un 12.45% hasta un 41.07% a las poblaciones evaluadas (Figura 16). Sikora y Fernández (2005), afirman que el incremento en la población de nematodos y la subsecuente reducción en el crecimiento y cosecha están directamente influenciadas por la densidad inicial de ellos en el suelo.

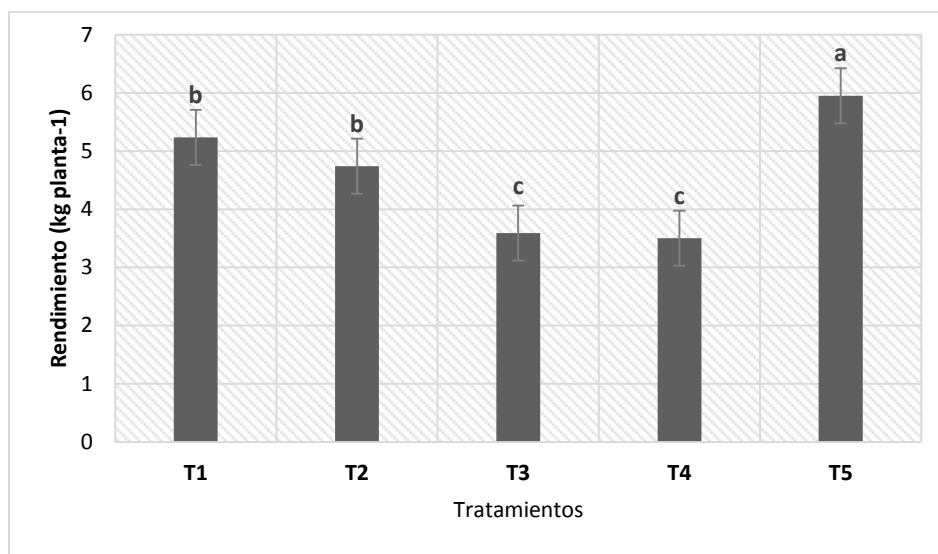


Figura 16.- Efecto de tratamientos de umbrales de tolerancia, sobre el rendimiento de tomate cultivado en invernadero. Columnas con la misma letra indican que no hay diferencia significativa entre tratamientos para Tukey (0.05).

T1=1,000 *, T2=2,000 *, T3=3,000 *, T4=5,000 *, T5=testigo sin aplicación.
* huevos de *Meloidogyne incognita*

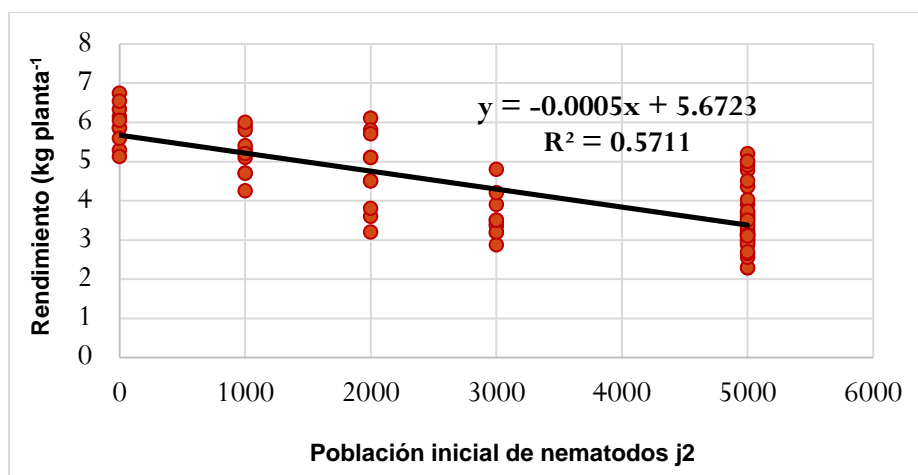


Figura 17.- Relación entre la población inicial de *Meloidogyne incognita* y el rendimiento de tomate cultivado en condiciones semicontroladas.

Se encontró una correlación lineal negativa entre las cantidades de nematodos inoculados al inicio del cultivo y el rendimiento a siete racimos por planta. El coeficiente de correlación $r^2=0.5711$ indica en un 57% los cambios en el rendimiento debido a la cantidad de nematodos y de acuerdo a la ecuación por cada nematodo presente hay una reducción de $0.0005 \text{ kg planta}^{-1}$ (Figura 17). Lo que significa que en una hectárea de cultivo con presencia de 1,000 nematodos, la reducción puede ser de hasta 11 ton ha^{-1} .

7.4. Efecto de organismos biológicos evaluados sobre el control de *Meloidogyne incognita* en tomate *Solanum lycopersicum* cultivado en condiciones semicontroladas en tres sistemas de cultivo.

Independientemente de los tratamientos, para las variables evaluadas se encontraron diferencias estadísticas significativas en cada sistema de cultivo en cada fecha de muestreo. En peso fresco de raíz, a los 50 ddt, los valores más bajos se mostraron en el cultivo en suelo con acolchado, a los 80 ddt no se observaron diferencias, no obstante, a los 110 ddt el menor peso se observó en el cultivo en macetas. En cuanto al peso seco de raíz, los mayores registros se observaron en el cultivo en suelo con acolchado plástico en las tres fechas de muestreo. En tanto que para el peso fresco y seco de hojas, los resultados mostraron que los valores más bajos se observaron en el cultivo en macetas en las tres fechas de muestreo y los mayores registros se reflejaron en el cultivo con acolchado plástico (Tabla 6).

En altura hubo diferencia estadística en los tres sistemas de cultivo, siendo mejor el sistema con acolchado plástico en las tres fechas de muestreo. Las alturas más bajas se observaron en el cultivo realizado en macetas en todos los muestros (Figura 18).

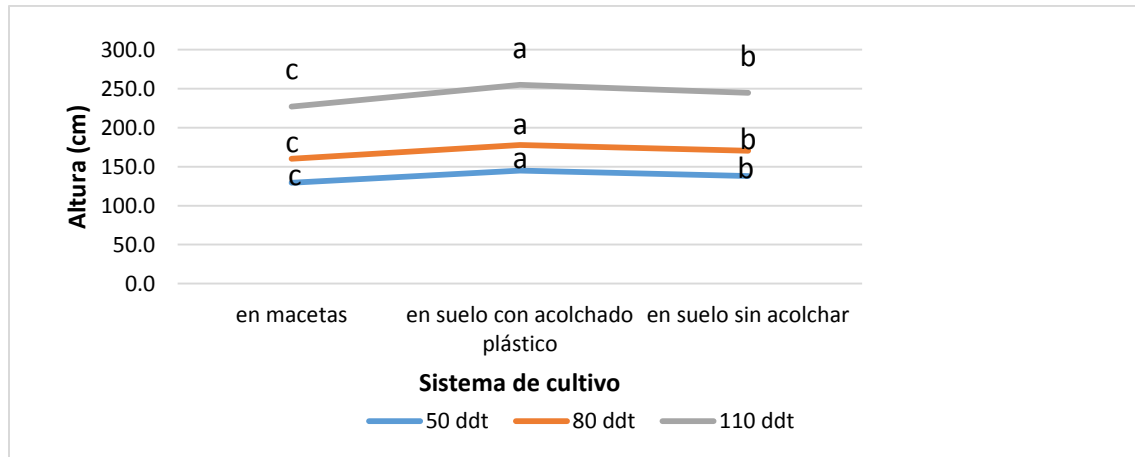


Figura 18.-Efecto de sistemas de cultivo sobre altura, índice de agallamiento de raíz y cantidad de nematodos en suelo en tres fechas de muestreo (50, 80 y 110 ddt) en plantas de tomate *Solanum lycopersicum* L.cultivadas en condiciones semicontroladas. Tukey (0.05).

Tabla 6.- Efecto de *Meloidogyne incognita* sobre peso fresco y seco de raíz y hojas en tres fechas de muestreo (50, 80 y 110 ddt) en tomate *Solanum lycopersicum* cultivado en tres sistemas bajo condiciones semicontroladas.

Variable / fecha de muestreo	Sistema de cultivo		
	En macetas	En suelo con acolchado plástico	En suelo sin acolchar
Peso fresco de raíz (g)			
50 ddt	71.41 ± 19.3 a	58.99 ± 10.5 b	64.26 ± 11.0 ab
80 ddt	102.94 ± 35.6 a	107.95 ± 14.3 a	105.18 ± 15.3 a
110 ddt	121.46 ± 25.6 c	170.15 ± 19.7 a	143.55 ± 22.1 b
Peso seco de raíz (g)			
50 ddt	25.85 ± 8.0 b	34.00 ± 3.7 a	29.03 ± 3.9 b
80 ddt	62.02 ± 18.7 a	66.85 ± 8.3 a	54.73 ± 7.3 b
110 ddt	70.78 ± 14.5 c	101.35 ± 13.2 a	83.75 ± 11.3 b
Peso fresco de hojas (g)			
50 ddt	206.55 ± 45.5 c	561.94 ± 88.2 a	510.72 ± 73.9 b
80 ddt	516.67 ± 11.24 b	600.11 ± 99.4 a	592.32 ± 119.9 a
110 ddt	620.02 ± 120.0 b	704.50 ± 126.4 a	692.70 ± 136.4 a
Peso seco de hojas (g)			
50 ddt	59.84 ± 16.7 b	113.63 ± 24.6 a	125.91 ± 11.2 a
80 ddt	83.24 ± 13.7 c	120.58 ± 13.7 a	104.90 ± 12.1 b
110 ddt	110.46 ± 23.9 b	138.20 ± 29.6 a	133.05 ± 25.5 a

Valores en cada columna seguidos por letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos, Tukey (0.05).

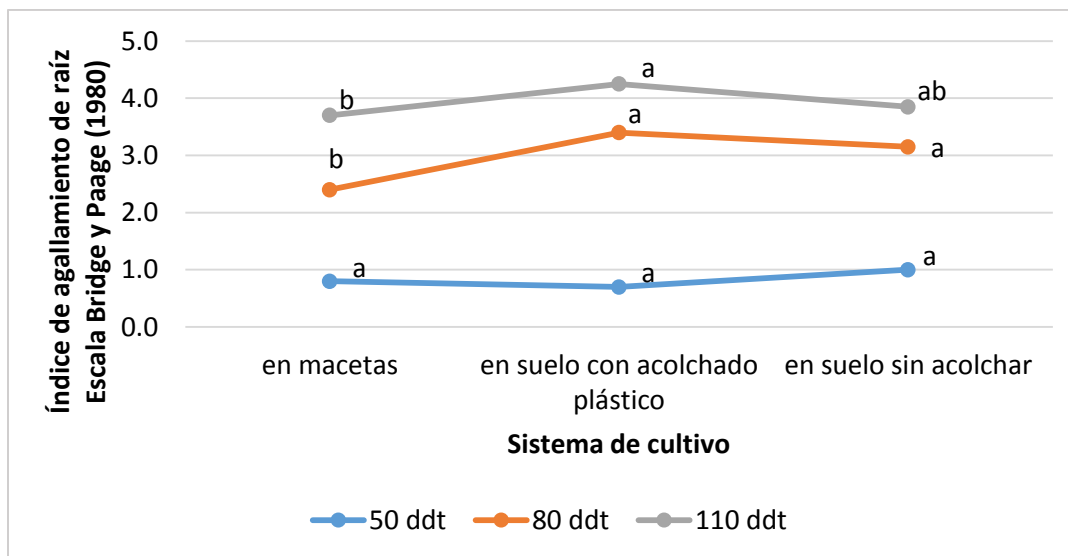


Figura 19. Índice de agallamiento de raíz en tres fechas de muestreo *Solanum lycopersicum* L. cultivadas en condiciones semicontroladas. Tukey (0.05).

En cuanto al índice de agallamiento de raíz de acuerdo al sistema de cultivo empleado; para la primera fecha de muestreo (50 ddt) no se mostraron diferencias estadísticas, siendo hasta la segunda (80 ddt) y tercera fecha (110 ddt) donde se reflejaron los más altos índices en el cultivo en acolchado plástico y en suelo sin acolchar, a diferencia del cultivo en macetas con los valores más bajos (Figura 19).

Con respecto al número de nematodos por sistema de cultivo y por el efecto de los métodos de control se encontró que únicamente en el segundo muestreo hubo diferencias estadísticas, siendo en el cultivo en macetas donde se contabilizaron las cantidades más altas; sin embargo en el primer muestreo no se observaron estas diferencias ni en el último muestreo, los registros indican que el sistema de cultivo no influye significativamente en la cantidad de nematodos en suelo a mayor desarrollo del cultivo (Figura 20).

Se encontró que a los 50 y 80 ddt los tratamientos aplicados como métodos de control en los tres sistemas de cultivo presentaron una reducción importante en la presencia de nematodos, ya que sólo se contaron la cantidad de 880 - 1811

nematodos/ 300 g de suelo, lo cual indica hay una reducción de un 70 – 80 % en las poblaciones de ellos. A los 110 días cuando la planta está en producción de frutos, para estos mismos sistemas de cultivo se encontró un incremento de poblaciones de nematodos, pero no rebasaron el número inicial aplicados en el suelo (5000 /300 g) en el sistema maceta hubo una reducción de un 40 % en el sistema con acolchado plástico de un 35 % y del sistema cultivo suelo sin acolchado de un 30 % (Figura 20).

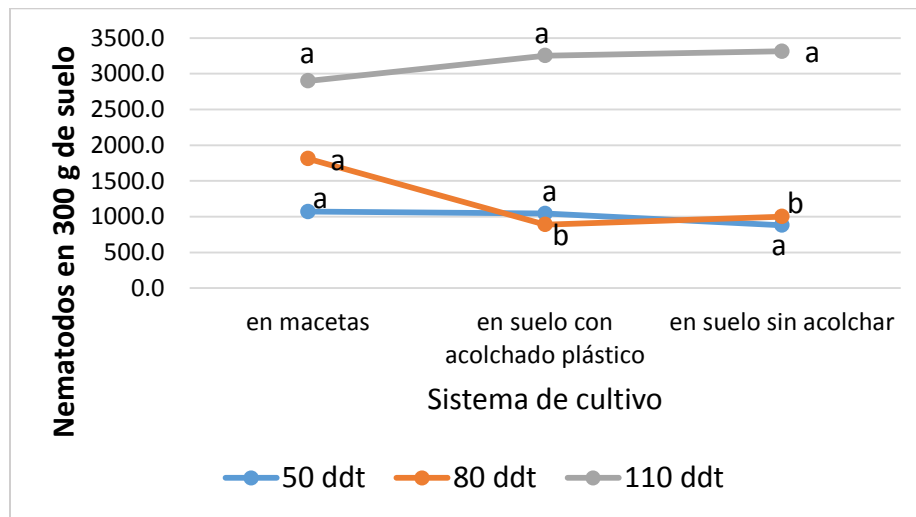


Figura 20. Número de nematodos en estado juvenil J2 de *M. incognita* encontrados en tres fechas de muestreo y tres sistemas de cultivo de *Solanum lycopersicum* L.cultivadas en condiciones semicontroladas. Tukey (0.05).

Se pudo observar que existe una relación directa entre la presencia de nematodos y el índice de agallamiento en raíz según la escala utilizada, a los 50 ddt en los tres sistemas de cultivo se encontró no más de 1, a los 80 ddt se encontró de 2.4 – 3.4 y a los 110 ddt el número de agallas se sigue incrementado encontrando una presencia de 3.7 - 4.25 según la escala (Figura 21).

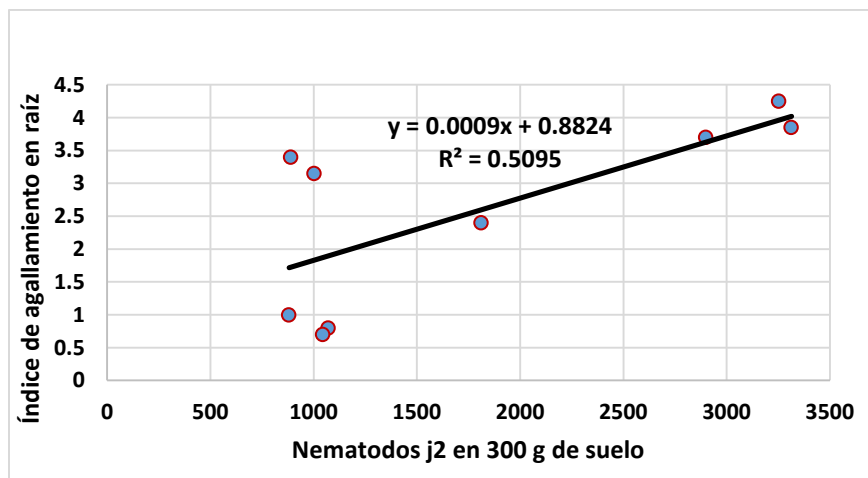


Figura 21. Relación entre la cantidad de nematodos en estado juvenil J2 de *M. incognita* encontrados en tres fechas de muestreo y tres sistemas de cultivo de *Solanum lycopersicum* L. cultivadas en condiciones semicontroladas.

El comportamiento de los nematodos fue similar al experimento de umbrales de tolerancia, donde la edad del cultivo es determinante y el no hacer aplicaciones de algún método de control en estas fechas, es un factor en el incremento de poblaciones de nematodos y nódulos en las raíces del tomate, existiendo una correlación lineal positiva de la cantidad de nematodos juveniles activos j2 en el suelo con respecto al índice de agallamiento en todos los tres sistemas de cultivo (Figura 22).

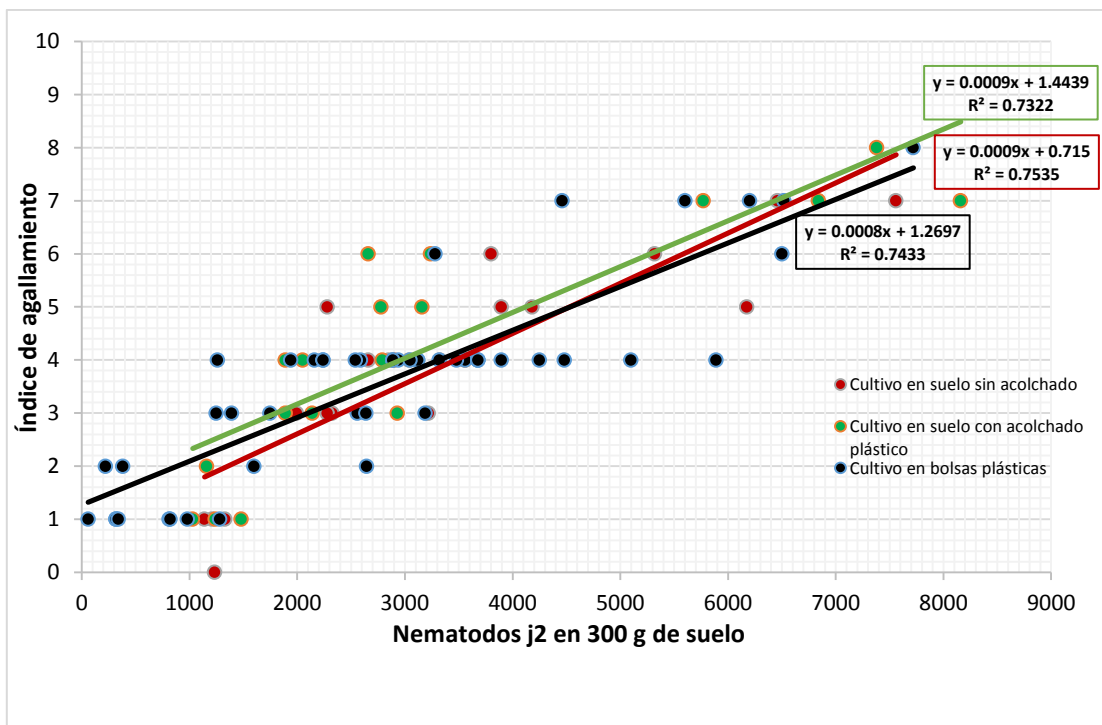


Figura 22.- Cantidad de nematodos j2 *Meloidogyne incognita* y índice de agallamiento al tercer muestreo (120 ddt), en tomate en tres sistemas de cultivo en condiciones semicontroladas.

Se encontró un efecto positivo entre los métodos de control y los diferentes sistemas de cultivo en rendimiento de tomate, el tratamiento que presentó los mayores rendimientos en frutos fue el establecido con acolchado plástico donde se obtuvo un rendimiento medio de 5.64 kg/planta seguido por el sistema cultivo suelo sin acolchado plástico con 5.16 kg/planta y el sistema con maceta obtuvo un rendimiento medio por planta de 3.96 kg/planta. Estadísticamente se encontró que existe diferencia entre los tres sistemas de cultivo y habiendo una diferencia en peso de fruto en el sistema con acolchado plástico de 0.48 kg con el sistema sin acolchado plástico y de 1.68 kg con el sistema maceta por planta (Figura 23).

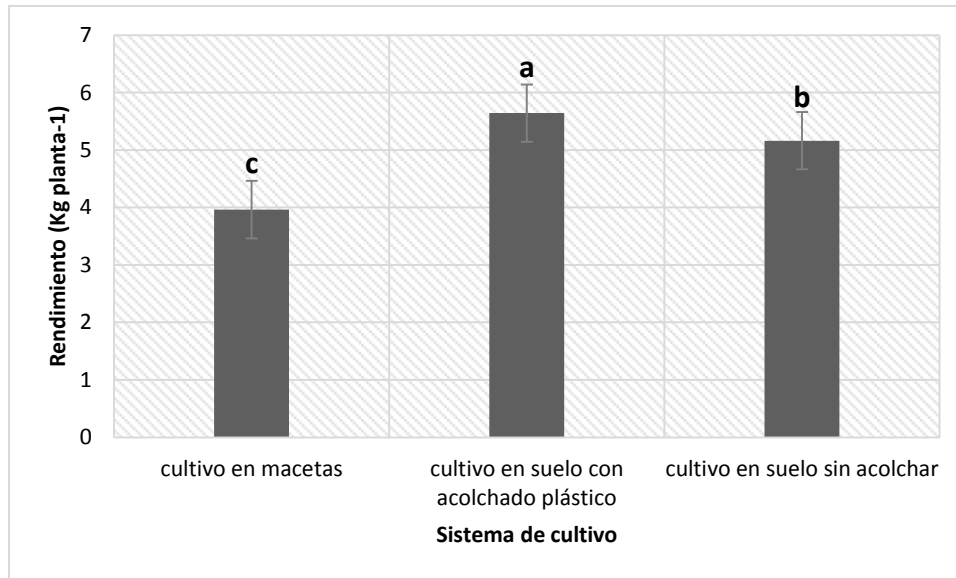


Figura 23.- Efecto de tratamientos sobre el rendimiento de tomate cultivado en tres sistemas de cultivo en condiciones semicontroladas. Tukey (0.05).

7.4.1. Efecto de tratamientos evaluados sobre variables de crecimiento, índice de agallamiento, cantidad de nematodos en suelo y rendimiento independiente del sistema de cultivo.

La altura de la planta de tomate fue estadísticamente similar en los dos primeros muestreos, siendo en el último a 110 ddt donde se observaron diferencias estadísticas, siendo los mejores los tratamientos la materia orgánica y la aplicación de la bacteria *B. subtilis* para esta variable con respecto al testigo, y para el peso fresco y peso seco de raíz fueron influenciado por la aplicación de la bacteria desde el primer muestro y proporcionó mayor volumen radicular a la planta de tomate (Tabla 7), y con respecto al peso fresco y seco de hojas los mismos tratamientos fueron los mejores estadísticamente con respecto al testigo y esto se reflejó tanto para el segundo y tercer muestreo (Tabla 8). Estos resultados coinciden parcialmente con los experimentos realizados por Araújo y Poletto (2009) quien menciona que la bacteria fue promotora del crecimiento de la planta de tomate al evaluar a los 85 días después del trasplante y con una inoculación inicial de 400 a 500 juveniles y huevecillos de *Meloidogyne* spp por

100 g de suelo; efecto debido en parte a la producción de fitoreguladores vegetales en la rizosfera.

Tabla 7.-Tratamientos aplicados para el control de *M. incognita* sobre la altura, peso fresco y seco de raíz en tomate cultivado en condiciones semicontroladas.

Tratamientos	Altura de la planta (cm), peso fresco y seco de raíz (g)								
	50 días*			80 días*			110 días*		
	Altura	Peso fresco	Peso seco	Altura	Peso fresco	Peso seco	Altura	Peso fresco	Peso seco
Testigo (Sólo Nematodos)	133.5 ± 11.8 a	60.95 ± 13.4 bc	25.0 ± 5.4 b	165.27 ± 9.3 a	87.60 ± 13.3 b	47.26 ± 9.0 c	230.16 ± 12.6 d	116.72 ± 23.5 c	72.0 ± 18.9 b
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	137.9 ± 6.6 a	64.82 ± 12.1 abc	29.3 ± 7.3 ab	165.0 ± 10.3 a	97.97 ± 25.0 b	56.07 ± 11.8 b	237.22 ± 13.4 bc	136.77 ± 28.4 ab	72.67 ± 13.6 b
<i>Bacillus subtilis</i>	139.0 ± 7.9 a	69.34 ± 17.6 ab	28.9 ± 4.8 ab	169.11 ± 9.9 a	127.21 ± 26.3 a	75.84 ± 10.7 a	239.72 ± 14.8 ab	154.0 ± 25.5 a	90.5 ± 16.2 a
Carbofuran	135.7 ± 9.6 a	53.74 ± 6.6 c	29.1 ± 6.7 ab	163.72 ± 11.0 a	86.94 ± 27.0 b	55.52 ± 10.6 b	233.16 ± 12.5 cd	125.0 ± 30.7 bc	73.0 ± 16.1 b
Materia Orgánica	136.8 a ± 8.2	78.85 ± 15.2 a	33.95 ± 6.8 a	168.05 ± 9.2 a	123.04 ± 19.1 a	72.66 ± 12.3 a	245.11 ± 14.7 a	153.44 ± 28.0 a	94.05 ± 13.4 a

Medias de cuatro repeticiones

*días después del tratamiento

Valores en cada columna seguidos por letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos, Tukey (0.05).

Tabla 8. Tratamientos aplicados para el control de *M. incognita* sobre peso foliar fresco y seco en de tomate cultivado en condiciones semicontroladas.

Tratamientos	Peso foliar (g)					
	50 días*		80 días*		110 días*	
	Peso fresco	Peso seco	Peso fresco	Peso seco	Peso fresco	Peso seco
Testigo (Sólo Nematodos)	379.10 ± 145.1 a	103.60 ± 34.2 a	464.37 ± 113.3 c	86.6 ± 17.0 b	565.89 ± 91.0 c	97.11 ± 20.2 c
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	379.22 ± 166.5 a	82.38 ± 30.0 b	500.89 ± 94.9 bc	87.3 ± 23.2 b	600.61 ± 136.3 c	108.16 ± 13.7 bc
<i>Bacillus subtilis</i>	410.44 ± 151.4 a	95.35 ± 23.8 ab	605.62 ± 139.5 a	106.5 ± 22.3 a	696.72 ± 120.5 b	141.61 ± 23.8 a
Carbofuran	429.49 ± 232.0 a	98.30 ± 48.7 ab	563.03 ± 76.3 ab	94.8 ± 15.8 b	621.11 ± 60.1 bc	115.61 ± 23.8 b
Materia Orgánica	423.85 ± 209.7 a	99.37 ± 36.4 ab	626.23 ± 63.6 a	106.4 ± 14.6 a	790.39 ± 96.4 a	145.72 ± 23.7a

*días después del tratamiento

Valores en cada columna seguidos por letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos, Tukey (0.05).

En cuanto a la aplicación de organismos biológicos, el mejor tratamiento para la reducción de agallas fue el T2 *P. lilacinus* con 50.7% y que fue estadísticamente diferente al testigo y a la aplicación del T4 con nematicida de síntesis química que sirvió de referencia que mostró la mejor reducción en 83.07% de agallas entre todos los tratamientos; además, la aplicación de *B. subtilis* mostró resultados promisorios con una reducción de 35.3% de agallas (Figura 24 y Tabla 9), esto coincide parcialmente con los resultados encontrados por Lihong et al., (2016)

quienes evaluaron siete cepas bacterianas para el control de nematodos en invernadero en cultivo de tomate, cuyos resultados por *B. subtilis* redujeron del índice de enfermedad por 55%, al aplicar inicialmente 3,000 nematodos j2 por maceta y con Burkett-Cadena et al., (2008) quienes evaluaron una formulación comercial BioYield conteniendo dos cepas a base de *B. subtilis* GB03 y *Bacillus amyloliquefaciens* los cuales redujeron significativamente los huevos y juveniles j2 de *M. incognita* y la formación de agallas en raíz, además hubo un incremento del volumen de raíz en el cultivo de tomate, por su parte Huang et al.,(2016) reportaron una alta actividad ovicida con la combinación de los hongos *Syncephalastrum racemosum* y *P. lilacinus* mostrando una reducción de alrededor de 70%, en la eclosión de huevos y la disminución de agallas y nematodos en el cultivo de pepino.

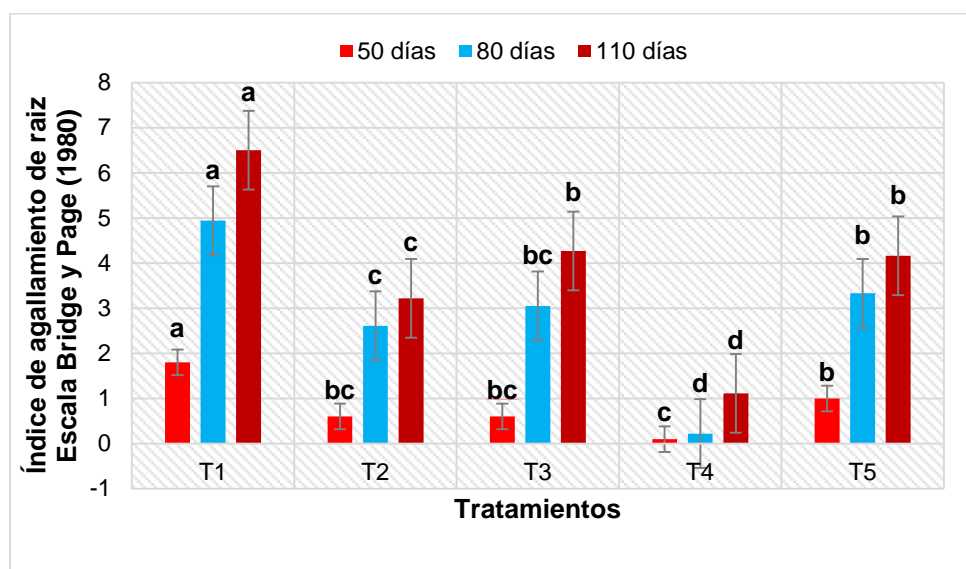


Figura 24.- Índice de nudosidad radicular de *M. incognita* de tomate cultivado en condiciones semicontroladas. Columnas con **diferente** letra existe diferencia significativa entre tratamientos para Tukey (0.05). T1=Testigo (5,000 huevecillos de *M. incognita*), T2=*Paecilomyces lilacinus*, T3=*Bacillus subtilis* , T4=Carbofuran y T5=Materia Orgánica.

Resultados similares se reflejaron en la cantidad de nematodos encontrados en suelo, donde además se observó que la aplicación de materia orgánica como tratamiento adicional, tuvo una actividad nematocida al aplicarlo como enmienda al

inicio del cultivo y resulta en una reducción de nematodos y difiere estadísticamente con el testigo que tuvo las mayores cantidades (Figura 25). Estos resultados coinciden con Oka (2010) quien menciona que el control potencial de los nematodos por una enmienda orgánica está directamente relacionada a su contenido de Nitrógeno, y la aplicación de abonos de animales, abonos verdes con una relación baja de C/N, provee una alta actividad nematicida y se mejora la actividad microbiana y con Baños et al.,(2010) quien encontró un efecto positivo sobre la reducción de la infestación en tratamientos con enmiendas orgánicas a base de gallinaza y melaza y menciona que éste permite incorporar nutrientes al suelo y mediante su descomposición se liberan sustancias que tienen efecto nematicida, favoreciendo la presencia de microorganismos antagonistas de *Meloidogyne* spp., además registró incrementos en las variables morfológicas y obtuvo rendimientos de 34.99 t/ha de tomate con respecto a su tratamiento testigo con 26,81 t/ha.

El hongo *Paecilomyces lilacinus* redujo tanto el índice de agallamiento como la cantidad de nematodos en suelo significativamente con respecto al tratamiento testigo (Tabla 9), lo cual concuerda con Hashem y Abo-Elyousr (2011) al evaluarlo en el cultivo de tomate en invernadero inoculando la cantidad de 4,000 juveniles infectivos j2 de *M. incognita* encontraron a los 60 días un índice de agallamiento de 3.1 y 2,010 nematodos en 250 g de suelo y con Anastasiadis et al.,(2008) quienes demostraron que junto con el oxamil como nematicida de síntesis química fueron los que mayor efectividad de control mostraron en un ensayo con plantas de tomate debido a su acción parasitaria sobre huevecillos y hembras de *M. incognita* Oka (2010). La aplicación del hongo *P. lilacinus* por tres ocasiones mantiene las poblaciones de nematodos bajo control; esto coincide con Kiewnick y Sikora (2006) al sugerir que para que la efectividad del hongo sea mayor es necesaria su aplicación por más de una vez durante el ciclo de cultivo, debido a la disminución del número de UFC.

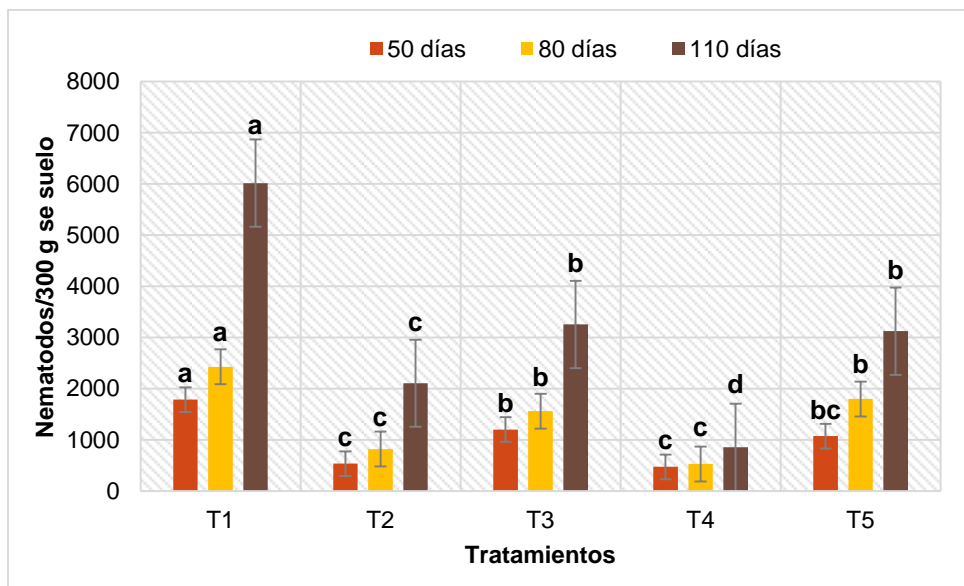


Figura 25.- Cantidad de nematodos juveniles j2 de *M. incognita* encontradas en tres fechas de muestreo en cada tratamiento en tomate cultivado en condiciones semicontroladas. Columnas con la misma letra indican que no hay diferencia significativa entre tratamientos para Tukey (0.05). T1=Testigo (5,000 huevecillos de *M. incognita*), T2=*Paecilomyces lilacinus*, T3= *Bacillus subtilis* , T4=Carbofuran y T5=Materia Orgánica.

En cuanto a los rendimientos por tratamientos sin considerar los sistemas de cultivo, presentó uniformidad en sus resultados, tres tratamientos con buenos o altos resultados, siendo los tratamientos T2, que corresponden a *Paecilomyces lilacinus* a una concentración de 6.5×10^{13} UFC/g con 5.26 kg T3 *Bacillus subtilis* a 5×10^9 UFC/g 5.21 kg y T5 materia orgánica 0.187 kg/ kg suelo con rendimiento de $5.04 \text{ Kg planta}^{-1}$ en relación al testigo sin tratamiento control con 4.07 kg/planta . Los tres tratamientos antes mencionados obtuvieron una producción de 300 g más que el tratamiento con carboruran, y con respecto al testigo el tratamiento de *P. lilacinus*, el rendimiento aumenta en un 22.62% (Figura 26), estos resultados coinciden con Kaur et al.,(2011) que indican que la presencia de nematodos agalladores del género *Meloidogyne* spp. causa pérdidas de más del 27% en los rendimientos cuando no se tiene un método de control adecuado.

Tabla 9.-Efecto de tratamientos sobre el número de nematodos y el índice de agallamiento según escala Bridge y page (1980) en tres fechas de muestreo en el cultivo de tomate cultivado en condiciones semicontroladas.

Tratamientos	50 días*		80 días*		110 días*	
	Índice de agallas en raíz	Población de nematodos (300 g de suelo)	Índice de agallas en raíz	Población de nematodos (300 g de suelo)	Índice de agallas en raíz	Población de nematodos (300 g de suelo)
Testigo (Sólo Nematodos)	1.8 ± 0.4 a	1783.9 ± 663.1 a	4.94 ± 1.25 a	2425.4 ± 1169.2 a	6.5 ± 1.1 a	6014.7 ± 1335.0 a
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	0.6 ± 0.5 bc	534.2 ± 245.5 c	2.61 ± 0.9 c	819.6 ± 467.3 c	3.2 ± 0.6 c	2105.2 ± 572.0 c
<i>Bacillus subtilis</i>	0.6 ± 0.5 bc	1200.5 ± 658.9 ab	3.05 ± 0.72 bc	1560.6 ± 603.1 b	4.2 ± 0.8 b	3255.3 ± 455.6 b
Carbofuran	0.1 ± 0.3 c	472.5 ± 151.0 c	0.22 ± 0.4 d	528.0 ± 392.2 c	1.1 ± 0.4 d	853.2 ± 456.1 d
Materia Orgánica	1.0 ± 0.4 b	1072.7 ± 435.7 bc	3.33 ± 0.4 b	1798.5 ± 855.9 b	4.1 ± 0.6 b	3123.9 ± 802.8 b

*días después del tratamiento

Valores en cada columna seguidos por letras diferentes indican diferencia significativa entre tratamientos, Tukey (0.05).

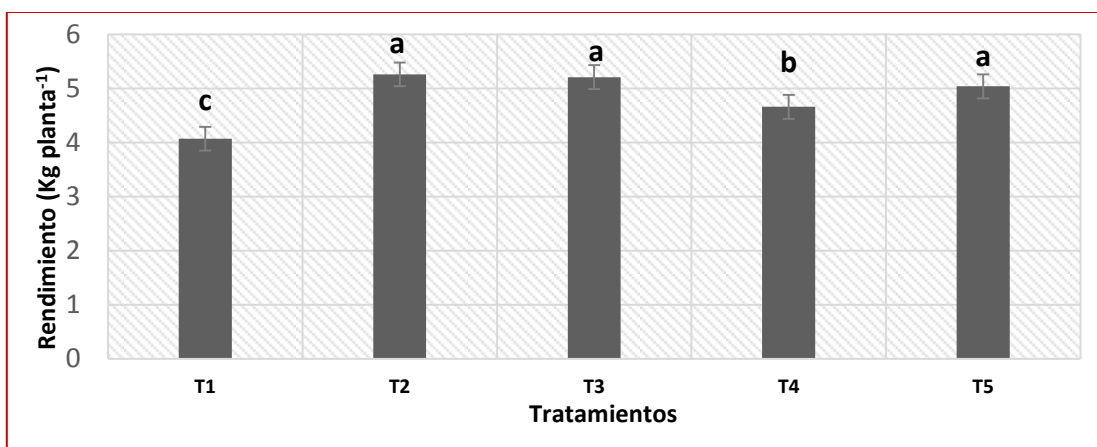


Figura 26.- Efecto de tratamientos aplicados para el control de nematodos sobre el rendimiento de tomate cultivado en invernadero. Columnas con la misma letra indican que no hay diferencia significativa entre tratamientos para Tukey (0.05).

T1=Testigo (5,000 huevecillos de *M. incognita*), T2=*Paecilomyces lilacinus*, T3= *Bacillus subtilis* , T4=Carbofuran y T5=Materia Orgánica.

VIII. CONCLUSIONES

1.- A mayor etapa vegetativa de la planta de tomate y a una profundidad de 0-15 cm del suelo, se encuentran las mayores poblaciones de nematodos j2, independientemente del número de los ciclos de producción en el mismo espacio, la diferencia va de 63-76% con respecto a las cantidades encontradas en profundidades de 15-30 cm.

2.-Las plantas de tomate *S. lycopersicum* en crecimiento activo, a los 50 días después del trasplante en promedio, toleran hasta 3,000 nematodos/planta sin verse afectadas en su altura, peso de raíz y hojas.

3.-A cantidades mayores de 3,000 nematodos/planta, la altura, el peso fresco y seco de raíz y foliar se reducen de 1.2 - 14.37% en plantas en producción y cuando no se hace ningún método de control.

4.-Con la presencia de 1,000 huevos de *M. incognita* en el suelo al inicio del cultivo de tomate, los rendimientos se ven afectados en un 12.7% cuando no existe un método de control.

5.-*Paecilomyces lilacinus* a una concentración de 6.5×10^{13} UFC/g, reduce la formación de agallas en raíz en 50.7% y tan sólo lo supera el carbofuran en 32.3% el cual tiene un efecto del 83.0%, además por ser un hongo específico tanto con efecto ovicida como para estados juveniles, reduce la población de nematodos en el suelo en 64.9% y es superado por el carbofuran en 20.8% mismo que la reduce en 85.8%.

6.-La aplicación del hongo *P. lilacinus* por al menos tres ocasiones durante las primeras etapas desarrollo del cultivo, mejora el rendimiento de tomate *S. lycopersicum* en un 22.62% y con la bacteria *B. subtilis* en un 21.8%, y que superan a la aplicación de carbofuran en 11.2% y 10.4% respectivamente.

7.-Con la aplicación de materia orgánica a la cantidad de 0.1875 kg/ kg de suelo se obtienen rendimientos de 5.04 kg planta⁻¹ a siete racimos, que representa un

incremento de 19.2% en relación con la ausencia del mismo y es además 7.8% mayor que con la aplicación de carbofuran aplicado al suelo para el control de nematodos.

8.-*Paecilomyces lilacinus* y *Bacillus subtilis* son buenos prospectos para utilizarlos dentro del manejo integrado de nematodos agalladores de raíz, ya que reducen la densidad de poblaciones y mejoran el rendimiento del cultivo y puede ser una alternativa para sustituir el uso los nematicidas o fumigantes tóxicos utilizados hasta ahora.

IX. RECOMENDACIONES

- 1.-Antes de establecer el cultivo de tomate *S. lycopersicum* se debe realizar un muestreo del suelo a una profundidad de 0-15 cm para determinar las cantidades existentes.
- 2.-La presencia de 1,000 nematodos en muestras de suelo de 300 g, es un indicador para considerar algún método de control, disminuir las poblaciones de nematodos de *M. incognita* en el cultivo de tomate *S. lycopersicum* y evitar la disminución en el rendimiento y al no realizarlo es determinante para el incremento de poblaciones de nematodos y nódulos en las raíces de las plantas.
- 3.-Es recomendable realizar al menos tres muestreos de suelo durante el desarrollo del cultivo de tomate *S. lycopersicum* tomando en cuenta que a mayor edad de la planta la probabilidad de encontrar mayores cantidades de nematodos es mayor.
- 4.-El cultivo de tomate *S. lycopersicum* bajo el sistema de acolchado plástico no es determinante en la reducción de agallas en las raíces ni en la cantidad de nematodos en el suelo; sin embargo, si influye significativamente en mayor rendimiento del cultivo.
- 5.-Se sugiere la utilización del hongo *P. lilacinus* como un organismo biológico de mayor especificidad en el control de nematodos en el suelo dentro del manejo integrado del cultivo de tomate *S. lycopersicum* y aplicarlo de forma periódica mensual desde el inicio del cultivo al menos por tres ocasiones y a una profundidad de 0-15 cm para que pueda tener mayor efecto.
- 6.-La utilización de *B. subtilis* y materia orgánica es recomendable y se sugiere hacer combinaciones de ellos con *P. lilacinus* para coadyuvar en el manejo de nematodos agalladores.
- 7.-Es necesaria la identificación molecular del nematodo evaluado y muestrear suelos de otras zonas productoras de tomate del estado para determinar la diversidad de especies y razas.

X. LITERATURA CITADA

Agrios GN. 2005. Plant Pathology. Fifth Edition. Academic Press. New York, USA. 922p.

Alcazar J y Cañedo V. 2003. Control biológico de plagas (mimeografiado). Amarashinge, L.D., Hominick, W.M. Briscoe, B.R. & Reid, A.P. 1994.

Anastasiadis IA, Giannakou IO and Prophetou-Athanasiadou DA 2008. The combined effect of the application of a biocontrol agent *Paecilomyces lilacinus*, with various practices for the control of root-knot nematodes. Crop Prot. 27, 352–361.

Araujo FF y Poletto MG. 2009. Uso de *Bacillus subtilis* no controle da meloidoginose e na promoção do crescimento do tomateiro. Ciencia Rural. Santa María, 39:1558-1361.

Arias Y, González I, Rodríguez M, Rosales C, Suárez Z y Peteira B. 2009. Aspectos generales de la interacción tomate (*solanum lycopersicon* L.) - *Meloidogyne incognita*. Rev. Protección Veg. Vol. 24 :1-13.

Badii MH and Abreu JL. 2006. Biological control a sustainable way of pest control. International Journal of Good Conscience. 1(1): 82-89.

Baños YS, Concepción A, Cruz R, González IA y Morejón LP. 2010. Efecto de enmiendas orgánicas y *Trichoderma* spp. en el manejo de *Meloidogyne* spp. Revista Brasileira de Agroecologia 5(2): 224-233.

Bhattarai KK, Xie Q-G, Mantelin S, Bishnoi U, Girke T, Navarre DA and Kaloshian I. 2008. Tomato susceptibility to root-knot nematodes requires an intact jasmonic acid signaling pathway. Mol. Plant Microbe Interact. 21, 1205–1214.

Brand D, Soccol CR, Sabu A and Roussos S. 2010. Production of fungal biological control agents through solid state fermentation: a case study on *Paecilomyces lilacinus* against root-knot nematodes. *Micología Aplicada Internacional* 22:31-48.

Bridge J and Page SLJ. 1980. Estimation of root-knot nematode infestation levels on roots using a rating chart. *Trop. Pest Manage* 26, 296–298.

Bridge J and Starr JL. 2007. *Plant Nematodes of Agricultural Importance*. London, UK: Manson Publishing Ltd. de Leij FAAM, Kerry BR, 1991. The nematophagous fungus *Verticillium chlamydosporium* as a potential biological control agent for *Meloidogyne arenaria*. *Révue de Nématologie* 14:157-64.

Burkett-Cadena M, Kokalis-Burelle N, Lawrence KS, Van Santen E and Kloepper JW. 2008. Suppressiveness of root-knot nematodes mediated by rhizobacteria. *Biological Control* 4, 55–59

Cadet P, Masse D and Thioulouse J. 2005) Relationships between plant-parasitic nematode community, fallow duration and soil factors in the Sudano-Sahelian area of Senegal. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 108:302-317.

Charegani H, Majzoob S, Hamzehzarghani H and Karegar-Bide A. 2012. Effect of various initial population densities of two species of *Meloidogyne* on growth of tomato and cucumber in greenhouse. *Nematol. mediterr.* 40: 129-134.

Cheng C, Chen YY, Cheng CY and Li YK. 2013. Catalytic function of a newly purified exo-beta-D-glucosaminidase from the entomopathogenic fungus *Paecilomyces lilacinus*. *Carbohydrate Polymers* 93: 615– 621.

Cid Del Prado VI, Tovar-Soto A y Hernández JA. 2001. Distribución de especies y razas de *Meloidogyne* en México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 19:32-39.

Cobb NA. 1918. Estimating the nematode population of soil. United States. Department of Agriculture of United State (USDA) 1:1-48.

Collange B, Navarrete M, Peyre G, Mateille T and Tchamitchian M. 2011. Root-knot nematode (*Meloidogyne*) management in vegetable crop production: the challenge of an agronomic system analysis. *Crop Protection* 30 1251-1262.

Coyne DL, Nicol JM, Claudius-Cole B. 2007. Practical plant nematology: a field and laboratory guide. Traducido por Verdejo-Lucas S. SP-IPM Secretariat, International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Cotonou, Benin. 93 p.

Favery B, Quentin M, Jaubert-Possamai S and Abad P. 2016. Gall-forming root-knot nematodes hijack key plant cellular functions to induce multinucleate and hypertrophied feeding cells. *Journal of Insect Physiology* 84, 60–69.

Guevara Y, Gómez E, Pino O, Rodríguez Y, Miranda I, Enrique R, Rodríguez MG. 2013. Efecto *in vitro* de concentraciones del NEMACID® sobre huevos y juveniles de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood. *Rev. Protección Veg.* Vol. 28 No. 1:74-76.

Hashem M and Abo-Elyousr K. 2011. Management of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomato with combinations of different biocontrol organisms. *Crop Protection* 30:285-292.

Hernández-Ochardía D, Arias Y, Gómez L, Peteira B, Miranda I and Rodríguez MG. 2012. Elementos del ciclo de vida de una población cubana de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood en *Solanum lycopersicum* L. *Rev. Protección Veg.* 27(3):188-193.

Hooper DJ. 1990. Extraction and processing of plant and soil nematodes. In: Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture, Luc, M., R.A Sikora and J. Bridge (Eds.). CAE International, Wallingford, UK., pp: 269-284.

Huang W K, Cui JK, Liu SM, Kong LA, Wu QS, Peng H, He WT, Sun JH and Peng DL. 2016. Testing various biocontrol agents against the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in cucumber plants identifies a combination of *Syncephalastrum racemosum* and *Paecilomyces lilacinus* as being most effective. Biological Control. 92 31-37.

Hunt DJ and Handoo ZA. 2009. Taxonomy, identification and principal species. In: Perry, R.N., Moens, M., Starr, J.L. (Eds.), Root-knot Nematodes. CABI International, Cambridge, MA (USA), pp. 55-97.

Hussey RS and Barker KR. 1973. A comparison on methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp. inc Vos, C., Tesfahun, A.N., Panis, B., De Waele, D., Elsen, A., 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi induce systemic resistance in tomato against the sedentary nematode *Meloidogyne incognita* and the migratory nematode *Pratylenchus penetrans*. Applied Soil Ecology 61, 1e6.ding a new technique. Plant Dis. Repr. 57, 1925–1928

Karssen G and Moens M. 2006. Root-knot Nematodes. En Roland N. Perry & Maurice Moens (Eds). Plant Nematology. CABI. 2006. Pp. 60-91.

Kaur DN, Sharma SK and Sultan MS. 2011. Effect of different chemicals on root knot nematode in seed beds of tomato. Plant Dis. Res. 26:170-170.

Kaya HK and Stock P. 1997. Techniques in insects nematology. 281-324. In: Annuals of techniques in insect's pathology. Academic Press, San Diego. USA

Kiewnick S and Sikora RA. 2006. Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* by *Paecilomyces lilacinus* strain 251. Biol. Control 38, 179–187.

Kumar S, Khanna AS. 2006. Effect of neem-based products on the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, and growth of tomato. Nematol Medit 34:141-146.

Lal B and Rana BP. 2013. Evaluation of fungi as seed and soil treatment against root knot nematode, *Meloidogyne incognita* in Okra. Agric. Sci. Digest., 33 (3): 226 - 229.

Leyva PAR, Castellanos GL y Pérez FA. 2011. Alternativas de lucha contra nemátodos noduladores en el cultivo del tomate en condiciones de organopónicos. Centro Agrícola, 38(3):5-9.

Lihong Z, Yuen G, Wang Y, Wei L and Ji G. 2016. Evaluation of bacterial biological control agents for control of root knot nematode disease on tomato. Crop Protection 84 8-13.

Liriano GR, Mirabal GO, Rodríguez BR y Viltres BM. 2012. Uso del hongo *Trichoderma* spp. para el manejo de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood en tomate. Centro Agrícola, 39(4): 49-54

Maleita CMN, Curtis RHC, Powers SJ and Abrantes I. 2012. Inoculum levels of *Meloidogyne hispanica* and *M. javanica* affect nematode reproduction, and growth of tomato genotypes. Phytopathologia Mediterranea. 51, 3, 566–576.

Mekete T, Mandefro W and Greco N. 2003. Relationship between initial population densities of *Meloidogyne javanica* and damage to pepper and tomato in Ethiopia. Nematologia Mediterranea 31, 169-171.

Mohamed SK, Kenawy A, Gohrab MA and Mohammed EE. 2012. Impact of microbial agents on *Meloidogyne incognita* management and morphogenesis of tomato. Journal of Biopesticides 1:28-35.

Niño NE, Arbeláez G and Navarro R. 2008. Efecto de diferentes densidades poblacionales de *Meloidogyne hapla* sobre uchuva (*Physalis peruviana* L.) en invernadero. Agron. Colomb. 26(1).

Oka Y. 2010. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments- a review. Appl. Soil Ecol. 44, 101-115.

Ou W, Liang W, Jiang Y, Li Q and Wen D. 2005. Vertical distribution of soil nematodes under different land use types in an aquic brown soil. Pedobiologia 49 139-148

Quiroga-Madrugal R, Rosales-Esquinca M, Rincón-Espinosa P y Hernández-Gómez E. 2007. Enfermedades causadas por hongos y nematodos en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Municipio de Villaflores, Chiapas, México. Revista Mexicana de Fitopatología 25:114-119

Radwan MA, Farrag SAA, Abu-Elamayem MM and Ahmed NS. 2012. Biological control of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on tomato using bioproducts of microbial origin. Appl. Soil Ecol. 56, 58-62

Salazar-Antón W y Guzmán-Hernández TJ. 2013. Efecto de poblaciones de *Meloidogyne* sp. en el desarrollo y rendimiento del tomate. Agron. Mesoam. 24(2):419- 426.

SAS Institute. 2004. SAS/STAT 9.1 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, N.C.

Seinhorst J W. 1965. The relation between nematode densities and damage to plants. *Nematologica*, 11: 137-154.

Sharma IP and Sharma AK. 2015. Root-knot Nematodes (*Meloidogyne incognita*) suppression through Pre-colonized Arbuscular Mycorrhiza (*Glomus intraradices*) in Tomato-PT3. *Scientia Agriculturae*. 12 (1): 52-57

Shurtleff MC and Averre III CW. 2000. Diagnosing plant diseases caused by nematodes. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, USA. 187 p.

SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2014. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (consulta, mayo 2016).

SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2014. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/> (consulta, mayo 2016).

Sikora RA and Fernández E. 2005. Nematodes parasites of vegetables. In: Liuc, M., Sikora, R.A., Bridge, J. (Eds.), *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. CAB International, Wallingford (GBR), pp. 319-392.

Taylor LA y Sasser NJ. 1983. Biología, identificación y control de los nematodos de nódulo de la raíz (especies de *Meloidogyne*). Proyecto Internacional de *Meloidogyne*. Universidad de Carolina del Norte, Raleigh, Estados Unidos.

Terefe M, Tefera T and Sakhuja PK. 2009. Effect of a formulation of *Bacillus firmus* on root-knot nematode *Meloidogyne incognita* infestation and the growth of tomato plants in the greenhouse and nursery. J. Invertebr. Pathol. 100, 94-99.

Vos C, Tesfahun AN, Panis B, De Waele D and Elsen A. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi induce systemic resistance in tomato against the sedentary nematode *Meloidogyne incognita* and the migratory nematode *Pratylenchus penetrans*. Applied Soil Ecology 61, 1-6.

Whitehead A G and Hemming JR. 1965. A comparison of some quantitative methods of extracting small vermiform nematodes from soil. Ann. Appl. Biol. 55, 25-38.

Yaqub BM, Hamid WA and Fazal M. 2012. Effect of *Paecilomyces lilacinus* and plant growth promoting rhizobacteria on *Meloidogyne incognita* inoculated black gram, *Vigna mungo* plants. Biopest 5: 36-43

Zakaria HM, Kassab AS, Shamseldean MM, Oraby MM and El-Mourshedy MMF. 2013. Controlling the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* in cucumber plants using some soil bioagents and some amendments under simulated field conditions. Annals of Agricultural Science. 58(1), 77-82.