



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD OAXACA**

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

(PROTECCIÓN Y PRODUCCIÓN VEGETAL)

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS

**“ALTERNATIVAS BIOECOLÓGICAS PARA EL CONTROL
DE NEMÁTODOS FITOPATÓGENOS EN TOMATE ROJO
(*Solanum lycopersicum* L.) CULTIVADO EN INVERNADERO”**

Presenta

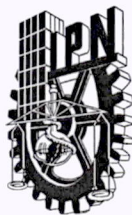
M.C. Sergio Ines Vásquez

DIRECTORES DE TESIS

Dr. Teodulfo Aquino Bolaños

Dr. Isidro Morales García

Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, Mayo 2021



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

Ciudad de México, 28 de 05 del 2021

El Colegio de Profesores de Posgrado de CIIDIR UNIDAD OAXACA en su Sesión
(Unidad Académica)

Ordinaria No. 04 celebrada el día 12 del mes abril de 2021 conoció la solicitud presentada por el (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Ines	Apellido Materno:	Vásquez	Nombre (s):	Sergio
--------------------------	------	--------------------------	---------	--------------------	--------

Número de registro: A 1 7 0 3 5 6

del Programa Académico de Posgrado: Doctorado en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales

Referente al registro de su tema de tesis; acordando lo siguiente:

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

“ALTERNATIVAS BIOECOLÓGICAS PARA EL CONTROL DE NEMÁTODOS FITOPATÓGENOS EN TOMATE ROJO (*Solanum lycopersicum* L.) CULTIVADO EN INVERNADERO”

Objetivo general del trabajo de tesis:

Determinar aspectos bioecológicos para el manejo de nematodos fitopatógenos en *Solanum lycopersicum* cultivados en invernadero.

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores:

Director: Dr. Teodulfo Aquino Bolaños 2° Director: Dr. Isidro Morales García
 No aplica:

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:

Laboratorio de Control Biológico y Suelos del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca y trabajo de campo en comunidades productoras de tomate en el estado de Oaxaca.

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente, hasta la aprobación de la versión completa de la tesis por parte de la Comisión Revisora correspondiente.

Director(a) de Tesis

Dr. Teodulfo Aquino Bolaños
Aspirante

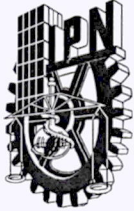
Ines Vásquez Sergio

2° Director de Tesis (en su caso)

Dr. Isidro Morales García
Presidente del Colegio

Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de siendo las horas del día del mes de del se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio del para examinar la tesis titulada:

“ALTERNATIVAS BIOECOLÓGICAS PARA EL CONTROL DE NEMÁTODOS FITOPATÓGENOS EN TOMATE ROJO (*Solanum lycopersicum* L.) CULTIVADO EN INVERNADERO”

del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Ines	Apellido Materno:	Vásquez	Nombre (s):	Sergio
-------------------	------	-------------------	---------	-------------	--------

Número de registro:

Aspirante del Programa Académico de Posgrado:

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 19 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo SI NO SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:

La similitud detectada por el software Turnitin se debe al uso común de palabras en revisión de literatura y materiales y métodos principalmente.

****Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente, y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** **SUSPENDER** **NO APROBAR** la tesis por **UNANIMIDAD** o **MAYORÍA** en virtud de los motivos siguientes:

La escritura de la tesis está completa, cuenta con 6 capítulos, de los cuales dos fueron publicados como artículos científicos y los otros capítulos cumplen con la información suficiente y fundamentada para presentarse como una tesis de Doctorado.

COMISIÓN REVISORA DE TESIS

Dr. Teodulfo Aquino Bolaños
Director de Tesis
Nombre completo y firma

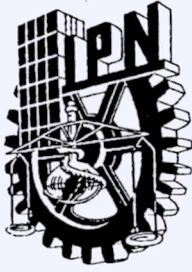
Dr. Gabino Alberto Martínez Gutiérrez
Nombre completo y firma

Dra. Martha Angélica Bautista Cruz
Nombre completo y firma

Dr. Isidro Morales García
2° Director de Tesis (en su caso)
Nombre completo y firma

Dr. Jaime Ruiz Vega
Nombre completo y firma

Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez
Nombre completo y firma
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES
INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R. UNIDAD OAXACA
IPN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 29 del mes de junio el año 2021, el que suscribe **Ines Vásquez Sergio** alumno del Programa de **Doctorado en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales** con número de registro **A170356**, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del **Dr. Teodulfo Aquino Bolaños y Dr. Isidro Morales García** y cede los derechos del trabajo titulado: **“ALTERNATIVAS BIOECOLÓGICAS PARA EL CONTROL DE NEMÁTODOS FITOPATÓGENOS EN TOMATE ROJO (*Solanum lycopersicum* L.) CULTIVADO EN INVERNADERO”** 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 sergio.x75@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Ines Vásquez Sergio

Nombre y firma



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

RESUMEN

Los nematodos fitopatógenos están presentes en casi todas las zonas agrícolas, ocasionan pérdidas importantes en el rendimiento en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Los nematodos son difíciles de controlar y erradicar totalmente, se requiere realizar un manejo integrado para disminuir la densidad poblacional en el suelo hasta niveles económicamente tolerables. Se han utilizado diversos métodos para su manejo, en la actualidad se realiza con productos químicos, con resultados adversos a suelo y al ambiente. El presente trabajo tiene como objetivo identificar alternativas para la prevención y/o control de nematodos fitopatógenos en tomate *Solanum lycopersicum* L. cultivado en invernadero. En campo se hizo la identificación de unidades de producción con antecedentes de presencia de nematodos fitopatógenos y la valoración de la importancia mediante muestreo de suelos e identificación de métodos de control utilizados, se caracterización de 28 muestras de suelo colectadas en unidades de producción de tomate *S. lycopersicum* L. del estado de Oaxaca de tres regiones: Mixteca, Valles centrales y Sierra Norte, donde se detectaron antecedentes de la presencia de nematodos fitopatógenos. Se determinaron parámetros físicos y químicos básicos, se identificaron síntomas en el cultivo por la presencia de nematodos en el rango de 373-2415 msnm. Las variaciones texturales de los suelos desde arenosos hasta arcillosos. Se sugiere analizar los tipos de suelos para identificar los factores que inciden en la distribución de nematodos fitoparásitos y adecuar las actividades productivas para un manejo sostenible del suelo; además se determinó la tolerancia de la variedad “El Cid F1® a cuatro niveles de inóculo de huevos de *M. incognita*/planta, y la efectividad para controlar al nematodo mediante el uso del hongo *Paecilomyces lilacinus*, la bacteria *Bacillus subtilis*, y el insecticida carbofuran. y finalmente la evaluación de portainjertos nativos de *Solanum*

lycopersicum L. y su efecto en el rendimiento y tolerancia a *Meloidogyne incognita*. La presencia de nematodos presento pérdidas de 12%) con 1,000 y 41% con 5,000 J2/planta. A los 110 ddt se mantuvieron poblaciones de J2 inferiores a 5000/nematodos con los tratamientos T2 = 1,005 (89.3%), T3 = 3,255 (76%), y T4 = 853 (90.5%). El rendimiento del cultivo de tomate se incrementó en 29% con la aplicación de *P. lilacinus*, en 28% con *B. subtilis*, y 30% con carbofuran respecto al testigo. Los tres portainjertos incrementaron su rendimiento en 125.90, 97.06 y 77.5% para los portainjertos Manzana, Ciruelo y Arriñonado, respectivamente, en relación al testigo. Los mayores diámetros de frutos se registraron cuando el Híbrido Cid F1[®] injertó sobre el portainjerto Manzana. El uso de portainjertos nativos-hibrido son una alternativa viable, pues incrementó el rendimiento y calidad de los frutos en sistemas de agricultura protegida en el cultivo de tomate.

Palabras clave: Nematodos, *Solanum lycopersicum* L, alternativas de control

ABSTRACT

Root-knot nematodes are present in almost all agricultural areas, causing significant losses in yield in tomato cultivation (*Solanum lycopersicum* L.). Nematodes are difficult to control and totally eradicate, an integrated management is required to reduce the population density in the soil to economically tolerable levels. Various methods have been used for its management, currently it is carried out with chemical products, with adverse results to the soil and the environment. The objective of this work is to identify alternatives for the prevention and / or control of phytopathogenic nematodes in tomato *Solanum lycopersicum* L. grown in a greenhouse. In the field, the identification of production units with a history of the presence of phytopathogenic nematodes and the assessment of the importance through soil sampling and identification of the control methods used were carried out,

characterization of 28 soil samples collected in tomato production units *S. lycopersicum* L. from the state of Oaxaca from three regions: Mixteca, Central Valleys and Sierra Norte, where antecedents of the presence of phytopathogenic nematodes were detected. Basic physical and chemical parameters were determined, symptoms were identified in the culture due to the presence of nematodes in the range of 373-2415 meters above sea level. The textural variations of the soils from sandy to clayey. The types of soils will be analyzed to identify the factors that influence the distribution of phytoparasitic nematodes and adapt the productive activities for a sustainable management of the soil; In addition, the tolerance of the variety “El Cid F1[®] to four levels of inoculum of *M. incognita* eggs / plant was determined, and the effectiveness to control the nematode through the use of the fungus *Paecilomyces lilacinus*, the bacterium *Bacillus subtilis*, and the insecticide carbofuran. Finally the native rootstocks of *Solanum lycopersicum* L. and its effect on the yield and tolerance to *Meloidogyne incognita* was assessed. The presence of nematodes presented losses of 12% with 1,000 and 41% with 5,000 J2 / plant. At 110 dat, J2 populations of less than 5000 / nematodes were maintained with the treatments (T2 = 1.005 (89.3%), T3 = 3.255 (76%), and T4 = 853 (90.5%)). Tomato crop yield increased 29% with the application of *P. lilacinus*, 28% with *B. subtilis*, and 30% with carbofuran compared to the control. The three rootstocks increased their yield by 125.90, 97.06 and 77.5% for the Manzana, Ciruela and Arriñonado rootstocks, respectively, in relation to the control. The largest fruit diameters were recorded when the Cid F1[®] hybrid grafted onto the Manzana rootstock. The use of native-hybrid rootstocks are a viable alternative, since they increased the yield and quality of the fruits in protected agriculture systems in tomato cultivation.

Keywords: Nematodes, *Solanum lycopersicum* L., control alternatives

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
ÍNDICE	6
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
INTRODUCCIÓN GENERAL	11
Hipótesis	13
Objetivo general	13
Objetivos específicos	13
CAPITULO I	15
I.-Revisión bibliográfica	
1.-Importancia del cultivo de tomate <i>Solanum lycopersicum</i> L	
2.- Características de los nematodos fitoparásitos	
2.1. Distribución mundial del nemátodo agallador del género <i>Meloidogyne</i> spp.	
2.2. Distribución nacional del género <i>Meloidogyne</i> spp.	
2.3. Ubicación taxonómica	
2.4. Ciclo de vida de <i>Meloidogyne incognita</i>	
2.5. Síntomas y daños causados en las plantas	
2.6. Estrategias para el manejo de nematodos en el cultivo de tomate	
2.6.1. Medidas legales	
2.6.2. Métodos de saneamiento	
2.6.3. Tratamientos físicos al suelo o sustrato	
2.6.4. Enmiendas orgánicas	
2.6.5. Fertilización	
2.6.6. Cultivos trampa	
2.6.7. Control biológico	
2.6.7.1. Los hongos nematófagos	
2.6.7.2. Hongos parásitos de huevos	
2.6.7.3. Bacterias antagonistas	
2.6.7.4. Interacciones y combinaciones de agentes de biocontrol con otros organismos del suelo.	
2.6.8. Control químico	
2.6.9. Utilización de plantas resistentes o tolerantes	
2.6.10. Rotación de cultivos	
3. Procedimiento para el muestro de sustrato, suelo y plantas para verificar la presencia de nematodos.	
3.1. Muestreo de suelo	
Literatura citada	
CAPITULO II	32

Síntomas asociados a la presencia de nematodos formadores de agallas en el cultivo de tomate rojo *S. lycopersicum* L.

Resumen

Introducción

1. Forma de invasión de los nematodos en las raíces hospederas

2. Daños que ocasionan

Conclusiones

Literatura citada

CAPITULO III

39

Identificación de unidades de producción con antecedentes de presencia de nematodos fitopatógenos y su importancia mediante muestreo de suelos e identificación de métodos de control utilizados.

Resumen

Introducción

Materiales y métodos

Sitio de estudio

1.-Selección de los sitios para el muestreo de suelos

2.-Forma de muestreo de suelos y raíces

3.-Determinación de las propiedades físicas y químicas básicas de los suelos colectados con antecedentes de presencia de nematodos fitopatógenos.

4.-Análisis de datos

5.-Resultados y discusión

5.1. Muestras de suelo tomadas por localidad y región

5.2. Propiedades físicas y químicas básicas de los suelos muestreados de tres regiones

Conclusiones

Referencias citadas

CAPÍTULO IV

62

Biocontrol y Tolerancia de *Meloidogyne incognita* en Tomate

Biocontrol and Tolerance of *Meloidogyne incognita* in Tomato Plants

Introducción

Resumen.

Abstract

Materiales y Métodos

Análisis Estadístico

Resultados y Discusión

Tolerancia de Tomate.

Control de *Meloidogyne incognita*.

Referencias Citadas

CAPÍTULO V

75

Portainjertos nativos de *Solanum lycopersicum* L. y su efecto en el rendimiento y tolerancia a *Meloidogyne incognita*

Native rootstocks of *Solanum lycopersicum* L. And its effect on yield and tolerance to *Meloidogyne incognita*

Resumen

Summary

Introducción	
Materiales y métodos	
Condiciones experimentales	
Material vegetal	
Preparación y aplicación del inóculo	
Tratamientos y diseño experimental	
Manejo del cultivo	
Variables evaluadas	
Poblaciones de nematodos e índice de agallamiento en raíces	
Parámetros de peso, rendimiento, diámetros y calidad de frutos	
Análisis estadístico	
Resultados y discusión	
Poblaciones de nematodos e índice de agallamiento en raíces	
Parámetros de frutos de tomate evaluados	
Peso y rendimiento de frutos	
Diámetros de frutos	
Parámetros de calidad de frutos	
pH y Conductividad Eléctrica	
Sólidos solubles totales y firmeza de frutos	
Conclusiones	
Referencias	
CAPÍTULO VI	101
Antecedentes sobre el uso de extractos de <i>Cannabis sativa</i> L. sobre el control de plagas en cultivos de importancia económica incluyendo nematodos formadores de agallas	
Resumen	
Introducción	
Conclusiones	
Literatura citada	
Conclusiones generales	106

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Superficie cultivada y unidades de producción de tomate <i>S. lycopersicum</i> L. a nivel nacional y para el estado de Oaxaca bajo el sistema de agricultura protegida.	44
Tabla 2. Unidades de producción de tomate <i>S. lycopersicum</i> L. bajo el sistema de agricultura protegida en cada región del estado de Oaxaca.	44
Tabla 3. Municipios de las regiones de los Valles Centrales, Mixteca y Sierra Norte con cultivo de <i>S. lycopersicum</i> L. seleccionadas para muestreo de suelos.	45
Tabla 4. Tipos de pruebas y determinaciones analíticas de los suelos	48
Tabla 5. Muestras de suelo colectadas de tres zonas productoras de tomate <i>S. lycopersicum</i> L. en el estado de Oaxaca.	50
Tabla 6. Muestras de suelo colectadas de invernaderos de la Región de los Valles Centrales.	50
Tabla 7. Muestras de suelo colectadas de invernaderos de la Región de la Mixteca.	51
Tabla 8. Muestras de suelo colectadas de invernaderos de la Región de la Sierra Norte.	51
Tabla 9. pH, Conductividad eléctrica y Porcentaje de humedad de suelos de unidades de producción de los Valles Centrales, Oaxaca.	52
Tabla 10. pH, Conductividad eléctrica y Porcentaje de humedad de suelos de unidades de producción de la región de la Mixteca, Oaxaca.	53
Tabla 11. pH, Conductividad eléctrica y Porcentaje de humedad de suelos de unidades de producción de la Sierra Norte, Oaxaca.	53
Tabla 12. Color del suelo de unidades de producción de tomate de la región de los Valles Centrales, Oaxaca	54
Tabla 13. Color del suelo de unidades de producción de tomate de la región de la Mixteca, Oaxaca	55
Tabla 14. Color del suelo de unidades de producción de tomate de la región de la Sierra Norte, Oaxaca	56
Tabla 15. Densidad aparente y tipo de suelo de unidades de producción de los Valles Centrales, Oaxaca.	56
Tabla 16. Densidad aparente y tipo de suelo de unidades de producción de la región de la Mixteca, Oaxaca.	57
Tabla 17. Densidad aparente y tipo de suelo de unidades de producción de la Sierra Norte, Oaxaca.	57
Tabla 18. Rangos de distribución de <i>Meloidogyne</i> spp. en México	58
Tabla 19. Efecto de Concentraciones de J2/planta sobre el Índice de Agallamiento de Raíces, Población de Nematodos J2/300 g de Suelo y Rendimiento de <i>S. lycopersicum</i> a Siete Racimos/Planta	67
Tabla 20. Efecto de Tratamientos de Control Sobre el Índice de Agallamiento de Raíces, Población de Nematodos J2/300 g Suelo y Rendimiento de <i>S. lycopersicum</i> a Siete Racimos/Planta	69
Tabla 21. Tipos de pruebas estadísticas aplicadas para la comparación de tratamientos de cada variable de estudio.	84
Tabla 22. Parámetros de frutos de tomate Cid F1® injertados sobre genotipos nativos de tomate y sin injertar	90

Tabla 23. Calidad de frutos de tomate Cid F1® injertados sobre genotipos nativos de tomate y sin injertar	93
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Forma de penetración del nematodo	33
Figura 2. Principio de quimiotaxis como mecanismo mediado por los exudados de las raíces	34
Figura 3. Formación de agallas en raíces	35
Figura 4. Síntomas por la presencia de nematodos	36
Figura 5. Muestreo de suelos	47
Figura 6. Muestras de suelo para su análisis	48
Figura 7. Determinación del color de suelo	49
Figura 8. Efecto de tratamientos sobre la población de nematodos juveniles activos J2 en 100 g de suelo a 120 ddt	87
Figura. 9. Efecto de tratamientos sobre el índice de agallamiento de raíces por <i>M. incognita</i> a 120 ddt.	89

INTRODUCCIÓN GENERAL

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.

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. 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.

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.

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.

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. En los últimos 20 años, la utilización de plaguicidas sintéticos ha sido poco recomendado debido a los problemas severos que causan al ambiente, sin embargo han sido los más utilizados hasta la fecha.

Los atributos físicos del suelo están correlacionados con las propiedades químicas y la dinámica de los elementos constituyentes de la fertilidad y de la diversidad biológica, por ello, realizar muestreos de suelos y hacer sus respectivos análisis de propiedades físicas y/o químicas será de mucha utilidad para realizar un manejo adecuado del cultivo de tomate y del suelo. Además de poder hacer un plan acorde a la cantidad de nematodos presentes en el suelo y disminuir las tasas poblacionales con el uso de alternativas ecológicas y amigables con el medio ambiente como los métodos de control biológicos, uso de extractos de plantas, utilización de variedades resistentes o tolerantes a altas presiones poblacionales de nematodos y seguir explorando otras alternativas para el manejo de nematodos del suelo a fin de aumentar los rendimientos del cultivo de tomate.

El presente trabajo surge como inquietud debido a los daños reportados en los rendimientos de 40-100% a causa de los nematodos fitopatógenos en el cultivo de tomate *S. lycopersicum* L. cultivado en ambientes protegidos y partiendo que las estrategias de control de manera

tradicional involucran el uso excesivo de agroquímicos y fumigantes que no han sido satisfactorias por su costo elevado y por sus efectos nocivos tanto al ambiente como a la salud humana.

Hipótesis

Con los resultados es probable identificar y proponer alternativas bioecológicas viables que promuevan el menor uso de nematicidas de síntesis química para el control de nematodos fitopatógenos en unidades de producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

Objetivos

Objetivo General:

Determinar aspectos bioecológicos para el manejo de nematodos fitopatógenos en *Solanum lycopersicum* cultivados en invernadero.

Objetivos específicos

1. Caracterizar suelos en unidades de producción de tomate *S. lycopersicum* L. con presencia de nematodos en tres regiones del estado de Oaxaca: Mixteca, Valles centrales y Sierra Norte.
2. Evaluar la efectividad de dos agentes de control biológico, para el manejo de nematodos J2 de *M. incognita* en tomate de invernadero.
3. Evaluar tres portainjertos nativos de *S. lycopersicum* y un híbrido comercial de tomate tipo saladette de crecimiento indeterminado (Cid F1[®]), para determinar su respuesta ante la presencia del nematodo *M. incognita* y su productividad bajo condiciones de invernadero.

El documento está estructurado en forma de capítulos donde se describen las actividades específicas que se fueron abordando en la búsqueda de alternativas bioecológicas de control de nematodos.

CAPÍTULO I. Revisión bibliográfica sobre el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y los nematodos formadores de agallas (*Meloidogyne* spp).

CAPÍTULO II. Revisión. Síntomas asociados a la presencia de nematodos formadores de agallas en el cultivo de tomate rojo *S. lycopersicum* L.

CAPÍTULO III. Identificación de unidades de producción con antecedentes de presencia de nematodos fitopatógenos y su importancia mediante muestreo de suelos e identificación de métodos de control utilizados.

CAPÍTULO IV. “Biocontrol y Tolerancia de *Meloidogyne incognita* en Tomate Biocontrol and Tolerance of *Meloidogyne incognita* in Tomato Plants”. Publicado en la Revista *Southwestern Entomologist* (JCR) en el mes de diciembre del 2020, Vol. 45, No. 4.

CAPÍTULO V. “Portainjertos nativos de *Solanum lycopersicum* L. y su efecto en el rendimiento y tolerancia a *Meloidogyne incognita*”. Publicado en la Revista *Interciencia* (JCR) en el mes de mayo 2021, Vol. 46, No. 5.

CAPÍTULO VI. Revisión bibliográfica “Antecedentes sobre el uso de extractos de *Cannabis sativa* L. sobre el control de plagas en cultivos de importancia económica incluyendo nematodos formadores de agallas.

CAPITULO I

Revisión bibliográfica: el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y los nemátodos formadores de agallas (*Meloidogyne* spp).

1. Importancia del cultivo de tomate *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%).

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.

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.

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.

Los nematodos del género *Meloidogyne*, representan un grupo polífago, son parásitos obligados de más de 200 especies vegetales econonómicamente importante como las hortalizas, frutales, ornamentales y otras, 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 e interfieren en el flujo de nutrientes y agua, provocando en la planta síntomas de marchitamiento y clorosis, entre otros.

2.-Características de los nematodos fitoparásitos

2.1. Distribución mundial del nemátodo agallador 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 género *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, los sitios de alimentación son conocidos como células gigantes, las células que se encuentran alrededor de estas sufren hiperplasia e hipertrofia, las cuales se manifiestan en agallas en las raíces de las plantas, las secreciones producidas son inyectadas al interior de las células a través de una estructura especializada llamada estilete.

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 apomíticas y polífagas, es decir se reproducen tanto sexual como asexualmente y en muchas especies de cultivos. Estas tres especies se encuentran en todo el mundo, por lo general en las zonas tropicales y subtropicales, pero también están presentes en áreas más templadas, especialmente en los cultivos protegidos.

M. incognita habita en climas tropicales y es posiblemente el parásito más dañino de los cultivos a nivel mundial, posee un amplio rango de hospedantes como pimiento, berenjena, apio, lechuga, pepino, zanahoria, papa, acelga, crisantemo, clavel, gladiolo, rosa, begonia, cactus y otras plantas y malezas provocando daños a los 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.

2.2. Distribución nacional del género *Meloidogyne* spp.

En nuestro país se encuentra ampliamente distribuido, Cid del Prado y su equipo, realizaron en el año 2001, 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. Ubicación taxonómica

Los nematodos pertenecen al reino Animal, tienen forma de gusanos alargados, cilíndricos pero son distintos taxonómicamente de los verdaderos, son pequeños y miden de longitud de

300 a 600 micras y entre 15 y 35 micras de ancho, no tienen aparato respiratorio ni circulatorio. La mayoría de las especies de nematodos conocidas viven libremente en el agua o en el suelo y se alimentan de microorganismos, plantas o animales pero algunos atacan y parasitan organismos vivos. Varios cientos de estas especies se alimentan de plantas vivas obteniendo su alimento a través de su estilete, como las del género *Meloidogyne*.

El género *Meloidogyne* se ubica dentro de la siguiente clasificación taxonómica:

Phylum Nemata

Clase Secernentea, Von Linstow 1950, Dougherty 1958.

Orden Tylenchida, Thorne 1949.

Suborden Tylenchina, Chitwood 1950.

Superfamilia Tylenchoidea, Örley 1880.

Familia Heteroderidae, Filipjev, Schuurmans, Sterkhoven 1941

Subfamilia Meloidogyninae, Skarbilovich 1959.

Género *Meloidogyne*, Göldi 1892.

2.4. Ciclo de vida de *Meloidogyne incognita*

En general tienen ciclo de vida corto, de 21 a 28 días de completando varias generaciones por año.

El desarrollo del huevo se inicia pocas horas después de haber sido depositado por la hembra; una vez que ha desarrollado su estilete, rompe la cutícula y sale del huevo hacia el suelo para penetrar en las raíces del hospedante a través de la cofia o por la parte más blanda utilizando

su estilete que es similar a una aguja hipodérmica con el cual produce una lesión cerca de la zona de iniciación de los haces vasculares, donde inyecta sustancias químicas a las células que ocasiona la formación de células gigantes (hipertrofia e hiperplasia). La unión de las células afectadas da lugar a las agallas o nódulos. Cada nódulo puede contener entre 10 y 12 hembras, las cuales depositan sus huevos en una masa gelatinosa externa a su cuerpo.

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, se ha encontrado 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. Los huevos se encuentran agrupados en masas de 100 a 1,200 individuos, protegidos por una matriz gelatinosa secretada por la hembra. Estas masas se encuentran en el suelo o en los restos de raíces del cultivo anterior. 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.

Las temperaturas de suelo de 25-30 °C son las ideales para el crecimiento y el desarrollo de este nematodo, temperaturas inferiores a 15 °C o superiores a 33°C interrumpen el desarrollo de las hembras que no llegan a completar su madurez.

Esta plaga está extendida en prácticamente todas las regiones productivas del país y del estado de Oaxaca, presentan mayor o menor presión según las condiciones medioambientales particulares de cada una de ellas, existe cierta tendencia a que los nematodos del género

Meloidogyne spp. presentan mayor preferencia por los suelos más sueltos franco-arenosos y requieren humedad para moverse.

2.5. Síntomas y daños causados en las plantas

Los daños consisten en la formación de agallas en la raíz que por su engrosamiento pueden ser de distintos tamaños, dependiendo del número de hembras que alberguen y pueden medir desde 1 ó 2 milímetros de diámetro en las raíces pequeñas y hasta 1 cm o más en las raíces grandes, las raíces altamente infestadas son mucho más cortas que las sanas, tienen menos raíces laterales y pelos radicales, lo cual dificulta la absorción de agua y nutrientes. Los nematodos interfieren la producción y translocación de sustancias provenientes de las raíces, como las hormonas giberelinas y citoquininas, también de sustancias que regulan la fotosíntesis.

El ingreso de los nematodos a las raíces causa heridas las cuales pueden ser la vía de ingreso para otros patógenos como *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Pythium* spp., crecen y se reproducen mucho más rápido en las agallas que en otras áreas de la raíz, induciendo así una ruptura más rápida de los tejidos radiculares.

La mayoría de los nematodos causantes de la agallas de la raíz se encuentran en la zona radicular entre los 5 y los 25 cm por debajo de la superficie.

Los síntomas en la parte aérea de la planta el daño se manifiesta a través de:

- ✓ Amarillamiento de plantas con aparente deficiencia de nutrientes
- ✓ Debilitamiento general de las plantas
- ✓ Inhibición de la brotación

- ✓ Marchitamiento
- ✓ Enanismo
- ✓ Reducción de los rendimientos de 10 a 30 %.

Los nematodos del género *Meloidogyne* spp. se localizan generalmente en manchones y pueden dispersarse con el agua de riego, los implementos de trabajo, maquinaria, herramientas, a través del calzado o por cualquier medio de transporte de tierra.

En los últimos años el problema de nematodos ha crecido notablemente en los cultivos hortícolas y sobre todo bajo invernadero. Ello está relacionado a las condiciones ambientales que se generan en los invernaderos y por la baja diversificación de cultivos a lo largo del año en el mismo lote productivo.

Daños que ocasionan: Inducen la formación de agallas en la raíz, lo que dificulta la absorción de agua y nutrientes, afectando el crecimiento de la planta. Los nematodos se transmiten por suelo contaminado, herramientas y plantas contaminadas.

2.6. Estrategias para el manejo de nematodos en el cultivo de tomate

Los nematodos son difíciles de erradicar totalmente, se requiere realizar un manejo racional y utilizar las estrategias adecuadas que ayuden a disminuir la densidad poblacional en el suelo hasta niveles económicamente tolerables, gran parte del éxito en su manejo está en las medidas preventivas que se realicen.

2.6.1. Medidas legales

Cuarentenas: Es cuando se interrumpe, se impide o detiene la introducción y/o incremento de la diseminación de nematodos importantes económicamente a nuevas áreas donde aún no se reporta su presencia.

Para esto, se requiere el conocimiento y personal especializado en los servicios de inspección fitosanitaria. Las cuatro especies principales de nematodos parásitos de plantas de importancia económica que son *M. arenaria*, *M. incognita*, *M. javanica* and *M. hapla*, no están reguladas porque su distribución es prácticamente mundial.

Los nematodos de zonas templadas como *M. chitwoodi* y *M. fallax*, son cuarentenados en algunos países como Estados Unidos y los de zonas subtropicales como *M. enterolobii* están en la lista de especies de plagas cuarentenadas y se recomienda su regulación por las instancias fitosanitarias gubernamentales.

2.6.2. Métodos de saneamiento

Para evitar la introducción y diseminación de nematodos a campos de cultivo libres de ellos.

Evitar el transporte de materiales de plantación infestados, suelo, restos de plantas, agua, los cuales pueden ser los medios de contaminación y dispersión de nematodos entre áreas libres y áreas contaminadas.

Desinfectar las herramientas e implementos que se utilicen para preparar el suelo para evitar llevarlos a un lote libre de ellos.

En los cultivos protegidos colocar en las entradas algunas formas de desinfección para el calzado ya sea tradicionales o rodantes, ventiladores con burbujas de aire o lo que esté al alcance del productor.

Esterilización de semillas, charolas a base de calor o con soluciones nematocidas de origen natural o desinfectantes.

2.6.3. Tratamientos físicos al suelo o sustrato

- Desinfectar el sustrato o suelo antes del trasplante al lote definitivo, es recomendable en el caso de producciones bajo cubierta la desinfección a través de productos registrados para el cultivo de tomate según la COFEPRIS o por otras formas.

- Solarización: Basado en el calentamiento del suelo a través de la radiación solar, donde se alcanzan temperaturas de 36 a 50 °C en los primeros 30 cm del suelo.

Una temperatura considerada suficiente para el control de nematodos es de 45°C, los efectos letales sobre los huevos y juveniles de segundo estado de *M. incognita* se han observado abajo de los 45°C cuando se exponen por un periodo de tiempo suficiente hasta por tres meses. La zona efectiva de la solarización son los primeros 15 cm de profundidad y a medida que aumenta la profundidad la eficacia va disminuyendo. Esto es una limitante por la forma en que se movilizan los nematodos.

Se realiza humedeciendo el suelo, cubriendo con polietileno transparente, es importante mantener siempre el suelo húmedo durante la solarización para incrementar la conductividad

térmica, activar las formas de resistencia (germinación) de los diferentes organismos perjudiciales habitantes del suelo y aumentar su sensibilidad a las altas temperaturas. El tiempo mínimo de solarización es de un mes, aunque su eficacia depende de la combinación de la temperatura del suelo y su duración, además utilizando plástico con las propiedades físicas apropiadas.

Ésta práctica realizada en invernaderos alcanza temperaturas máximas de 50-53°C a 5 cm de profundidad y 40-43 °C a 15-20 cm siendo efectivo en el cultivo de tomate para el control de otros patógenos como *Clavibacter michiganensis* subsp. *Michiganensis*, *Verticillium* spp.; *Rhizoctonia solani*; *Sclerotium* spp.; *Fusarium* spp.; *Phytophthora* spp.; *Pythium* spp.; *Sclerotinia* spp., además de semillas de malezas y otros insectos, sin destruir al grupo hongos micorrízicos, *Trichoderma* spp y las bacterias promotoras de crecimiento como *Bacillus* spp. y *Pseudomonas* spp. que soportan estas temperaturas.

Su uso tiene muchas ventajas aunque también sus desventajas, debido a las altas cantidades de agua necesarias, a que el efecto no es específico sobre los microorganismos habitantes del suelo, a la posible emisión de químicos fitotóxicos dentro del suelo tratado y a los cambios del pH del suelo. Otras limitantes de éste método pueden deberse a la alta resistencia de los huevos de los nematodos al calor, las condiciones climáticas durante el período de solarización y al riesgo de que el suelo pueda ser re-infestado después del tratamiento debido a que los nematodos puedan migrar a las capas más profundas, ya sea debido a las prácticas de labranza donde se invierten las capas de los suelos o debido a la gradual recuperación de los movimientos de los nematodos a largo plazo.

- Biofumigación: Método semejante al anterior donde se utiliza por un lado la fuente calórica de la solarización para incrementar la temperatura y por otro el efecto de la

descomposición de la materia orgánica incorporada al suelo para ejercer el efecto biocida.

Como fuente de materia orgánica, se puede utilizar estiércol animal y restos de cultivos como los de la familia de las crucíferas: coliflor, brócoli, repollo, etc., que al descomponerse liberaran sustancias como el metil-iso-tiosanato, glucosinatos y amonio que causan la muerte de organismos perjudiciales en el suelo. La materia orgánica mejora las propiedades físicas del suelo permitiendo además el desarrollo de organismos antagonistas.

Los restos vegetales y el estiércol se incorporan al suelo y se cubren con polietileno transparente para poder captar la radiación solar e incrementar la temperatura del suelo el cual se humedece, se deberá dejar de 30 a 45 días o mayor tiempo de ser posible.

2.6.4. Enmiendas orgánicas

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, restos de cosechas y organismos biológicos, abonos verdes, que se incorporan al suelo, su uso puede ser una práctica de cultivo tradicional para mejorar la fertilidad y estructura del suelo.

Además, se han identificado y evaluado muchas especies de plantas con propiedades nematicidas aplicadas como extractos o como enmiendas al suelo, por ejemplo, el neem (*Azadirachta indica*) puede ser utilizado ya sea como abono verde, incorporando las hojas al

suelo, como aceite o como extracto. Otras especies de abonos verdes que han sido buenos son algunas crucíferas como el rábano (*Raphanus sativus*), el repollo (*Brassica napus*), que limitan la reproducción de los nematodos al descomponerse en el suelo, otros más como la higuera (*Ricinus communis*), flor de cempasúchitl (*Tagetes erecta*, *Tagetes patula*, *Tagetes minuta*).

Aunque los mecanismos de acción no son muy claros y las modalidades de aplicación son empíricas, hay tres principales procesos biológicos que están involucrados en sus mecanismos:

- Mejoran la capacidad de suelo para retener nutrientes y agua, los cuales, dando vigor a las plantas e incrementar su tolerancia a los nematodos.
- Liberan compuestos específicos con actividad nematicida.
- Estimulan la actividad microbiana en el suelo (depredadores, hongos, bacterias, incluyendo nematodos antagonistas).

La cantidad a aplicar es variable dependiendo de la infestación y el tipo de enmienda a utilizar, se sugiere hacer varias aplicaciones para tener un mejor efecto. Se deben considerar otros factores como la variedad, el tipo de suelo, temperatura, humedad del suelo, entre otros, Se sabe que el manejo potencial de los nematodos con enmiendas orgánicas está directamente relacionado con su contenido de Nitrógeno, así que mientras más baja sea la relación C/N, menor a 20 (es decir, que estén bien descompuestos antes de aplicarlos), ya sea de estiércol de animal, gallinaza, abonos verdes o algún otro, tendrá mejores efectos nematicidas, no causarán fitotoxicidad y mejorarán la actividad microbiana del suelo.

En general, las enmiendas orgánicas pueden tener efectos sobre los nematodos, dependiendo de muchas interacciones, el tipo de componentes que se liberan, las dosis, las características del suelo y los niveles de población de ellos. Una limitante puede ser que se requieren grandes cantidades de materia orgánica dependiendo de la superficie. Esta técnica es probablemente la mejor como una medida preventiva para el control de los nematodos ya que además mantiene la fertilidad de los suelos. La materia orgánica mejora las propiedades físicas del suelo permitiendo además el desarrollo de organismos antagonistas.

2.6.5. Fertilización

Incluye las de tipo orgánico o como las inorgánicas como aquellas que contienen o liberan nitrógeno amoniacal son probablemente capaces de controlar nematodos. Sin embargo la dosis efectiva excede por mucho lo que se requiere para la fertilización, es decir, se requieren altas cantidades para ser efectivas sobre los nematodos, alrededor de 300 kg N/ha, lo que resulta en acumulación y fitotoxicidad por nitratos en el suelo y esto tiene consecuencias negativas para el crecimiento de las plantas, pueden quedar susceptibles para la manifestación de enfermedades y otros efectos sobre el medio ambiente. La adición de urea al suelo puede también convertirse en amonio a través de las ureasas presentes en el suelo.

2.6.6. Cultivos trampa

La siembra de cultivos trampa –como la flor de muerto (*Tagetes* spp.), o crotalaria, cascabellito (*Clotalaria* spp.)– en rotación con tomate o como cobertura son recomendados para reducir sus poblaciones.

2.6.7. Control biológico

Se han identificado y clasificado varios hongos y bacterias en base a sus características nematófagas y antagonistas.

2.6.7.1. Los hongos nematófagos

Algunos de los más estudiados son los hongos *Arthrobotrys* spp. y *Monacrosporium* spp., los cuales atrapan o capturan a los nematodos y los envuelven, estos hongos existen en los suelos de manera natural a bajas concentraciones y son predadores de algunas especies específicas de nematodos incluyendo *M. incognita* en diversos cultivos hortícolas.

2.6.7.2. Hongos parásitos de huevos de *Meloidogyne* spp.

Incluyen *Paecilomyces lilacinus* y *Pochonia chlamydosporia* que de acuerdo a estudios son probablemente los más efectivos. *P. lilacinus* ha mostrado un control exitoso de nematodos agalladores de raíz *M. javanica* y *M. incognita* y la formación de masas de huevos mayores al 70% en tomate y en otras hortalizas, esto es porque es el único que posee cuatro enzimas que actúan para el control de nematodos.

P. lilacinus se adapta a condiciones tropicales y suelos ácidos cercanos a un pH de 6, más que a condiciones templadas o frías, lo que permite su uso en condiciones de invernadero, a diferencia de *P. chlamydosporia* que prefiere condiciones climáticas y suelos templados.

Otros hongos que tienen efectos tóxicos sobre los nematodos son *Aspergillus* spp. y *Trichoderma* spp. Especies como *Aspergillus niger*, *Aspergillus fumigates*, *Aspergillus terreus* han mostrado alta toxicidad contra estados juveniles de *M. incognita* y por su parte

Trichoderma viride tiene efecto sobre la eclosión de huevos y ha sido eficaz en condiciones de invernadero al igual que *T. harzianum* a dosis de 15 g/kg de suelo o de 30 kg/ha.

Otro hongo con buen resultado es *Lecanicillium* (= *Verticillium*) *lecanii*, cuya aplicación provoca la mortalidad de los estados juveniles del nematodo y la eclosión de huevos en más de 90%.

2.6.7.3. Bacterias antagonistas

El uso de las bacterias *Pseudomonas fluorescens* y *Pasteuria penetrans* han sido muy estudiadas. *P. penetrans* es un endoparásito obligado del nematodo *M. incognita* en el cultivo de tomate y se ha reportado que incrementa el rendimiento de tomate en un 46%.

Por otra parte, también, *Bacillus firmus* ha dado buenos resultados en invernaderos de tomate, aparte de causar la reducción de agallas, la población final de nemátodos y huevos, incrementa la altura y la biomasa de la planta. La aplicación de *Bacillus subtilis* aumenta la biomasa de las raíces y de la parte aérea de las plantas, reduce la formación del número de agallas y la formación de masas de huevos en las raíces.

2.6.7.4. Interacciones y combinaciones de agentes de biocontrol con otros organismos del suelo.

Se ha demostrado que la combinación de *P. chlamydosporia* and *P. fluorescens* mejora el control de nematodos.

La combinación de *Rhizobacterium*, *Pseudomonas putida*, con el hongo de micorriza arbuscular, *Glomus intraradices*, y hojas de neem dan un buen control de *M. incognita* en el cultivo de tomate.

La gallinaza combinada con la bacteria *P. fluorescens* también ha dado buenos resultados en el cultivo, sobre todo aplicándolos antes del trasplante. Su incorporación al suelo aumenta los microorganismos antagonistas y por consecuencia el control biológico de los nematodos. Hongos de micorriza arbuscular como *Glomus mosseae* reduce las poblaciones en un 45% para *M. incognita*.

La combinación de *P. lilacinus* y la rizobacteria promotora de crecimiento *Bradyrhizobium* incrementan significativamente el contenido de nitrógeno de raíces y brotes, aplicarlos antes de la plantación disminuye la tasa de multiplicación de nematodos y el desarrollo de agallas en las raíces y favorecer el incremento del crecimiento de las plantas y su resistencia a patógenos.

Aplicar agentes de control biológico como única forma, no garantiza un control adecuado de nematodos, por lo que se deberían integrar con otras prácticas de manejo tales como cultivares resistentes, rotación de cultivos, cultivos trampa o plantas antagonistas y de esta manera promover el establecimiento de dichos agentes de control para reducir las poblaciones de nematodos en el suelo.

2.6.8. Control químico

La forma tradicional y común de la mayoría de los productores para el control de nematodos en el cultivo de tomate y otras hortalizas ha sido el uso de nematicidas y fumigantes de síntesis química; su uso indiscriminado ha causado en algunos casos el deterioro de los suelos, agua, mantos freáticos, toxicidad a organismos benéficos del suelo, afectación al medio ambiente, entre otras.

Existen fumigantes que se transforman en gases al aplicarlos al suelo como el Metam Sodio, Metam Potasio, Agrocelhone, Dazomet que por la liberación de metil-iso-tiocianatos su eficiencia como biocida es similar a la del Metam Sodio. Todos ellos como alternativas al Bromuro de Metilo.

Otros son el Metam Amonio, Ioduro de Metilo y Dimetil Disulfuro que son productos altamente tóxicos.

En todos los casos la aplicación puede realizarse por sistema de riego por goteo o por inyección aplicando el producto directamente al suelo. En el caso de Dazomet por ser de formulación granulada se debe distribuir superficialmente, incorporarlo y regar. Otros nematicidas como Etoprop (Mocap 70 EC) se pueden aplicar en las primeras etapas de desarrollo de las plantas o a los 50 días después del trasplante.

Existen otros como el 1-3 dicloropropeno + cloropicrina, el cual se debe tener mucho cuidado al aplicarlo.

2.6.9. Utilización de plantas resistentes o tolerantes

- Cuando sea posible, utilizar variedades más tolerantes o resistentes o plantas de tomate injertadas en patrones con tolerancia comprobada.

2.6.10. Rotación de cultivos

- La rotación de cultivos de un mínimo de tres años se recomienda para el cultivo de tomate y reducir las plagas y enfermedades; sin embargo, debido al amplio rango de hospedantes de los nematodos, las opciones de rotación son limitadas. El cultivo de maíz y algunas otras especies de gramíneas o frijol son algunas de las pocas opciones de rotación.

3. Procedimiento para el muestro de sustrato, suelo y plantas para verificar la presencia de nematodos.

3.1. Muestreo de suelo

Muestrear suelos durante el desarrollo del cultivo aún sin presencia de síntomas característicos en las plantas para verificar la presencia de nematodos, se sugiere realizarlo a dos profundidades, de 0-15 cm y de 15 a 30 cm, dado que la mayor parte de los nematodos se encontrará en la zona radical.

Las muestras deben representar la superficie del lote productivo, se sugiere realizar un muestreo aleatorio sistemático tomando cada submuestra a intervalos de 5 m en ambos lados del surco de plantación, es recomendable extraer muchas submuestras pequeñas en lugar de pocas grandes, posteriormente todas ellas se mezclarán para obtener una muestra compuesta de 300 g.

Las muestras extraídas se guardarán cuidadosamente, no exponerlas al sol, cerrando las bolsas para impedir la pérdida de humedad como para evitar la mezcla con otras muestras, deben rotularse con datos necesarios como el nombre y dirección del establecimiento, nombre del productor, cultivo presente en el momento del muestreo, etapa fenológica, el

cultivo anterior y el tipo de suelo si fuera posible, se deberán enviar a un laboratorio de análisis nematológico dentro de las 48 horas de haberlas extraído.

Literatura citada

- Antoniou, P.P.; Tjamos, E.C. y Panagopoulos, G. 1995. Use of soil solarization for controlling bacterial canker of tomato in plastic houses in Greece. *Plant Pathology* 44: 438-447.
- Bernal, R.; Orihuela, C.; Mendoza, Y. y González, L. 2001. Documento del Taller final de evaluación de alternativas al Bromuro de Metilo en el sector hortícola de Uruguay. 124 pp.
- Cebolla V.; del Busto A.; Barreda D.; Martinez, P.F. y Cases, B. 1989. Study on combined soil solarization plus fumigants to control some soil-borne fungi and weeds. Simposio internazionale su nuove applicazioni dell'energia solare in agricoltura. Siracusa (Italia).
- Chávez, E.J. 2004. Nemátodos en cultivos hortícolas del sudeste bonaerense. Seminario Avances en la sustitución/eliminación del bromuro de metilo en la desinfección de suelos y sustratos. (2): 52-58.
- Chen, W.X.; Li, G.S.; Qi, Y.L.; Wang, E.T.; Yuan, H.L. y Li, J.L.. 1991. *Rhizobium huakuii* sp. nov. isolated from the root nodules of *Astragalus sinicus*. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 41: 275-280.
- 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.
- DeVay, J.J. 1990. Historical review and principles of soil solarization. En: DeVay, J.E., Stapleton, J.J. y Elmore, C.L., eds. Proc. of the First Int. Conference on Soil Solarization, Amman, Jordan, 19-25 February 1990. FAO Plant Protection and Production Paper No. 109. Rome. 1991.

- DeVay, J. y Katan, J. 1991. Soil solarization: historical perspectives, principles and uses, p. 23-27.
In: Devay, J. and Katan, J. (Eds.). Soil solarization. U.S.A. 267 p.
- Katan, J.; Fishler, G. y Grinstein, A. 1983. Short and longterm effects of soil solarization and crop sequence on *Fusarium* wilt and yield of cotton in Israel. Phytopathology. 66: 683-688.
- Kodama T. y Fukui, T. 1982. Solar heating in closed plastic house for control of soil borne diseases. Application for control of *Fusarium* wilt of strawberry. Ann. Phytopathol. Soc. Japan. 48:570-577
- Malathrakis N.E. 1987. Six years experience on solarization against soil borne diseases of vegetables in protected crops. CEC10BC Joint experts meeting Spain.
- Pullman, G.S., DeVay, J.E. y Garber, R.H. 1981. Soil solarization and thermal death: A logarithmic relationship between time and temperature for four soil-borne plant pathogens. Phytopathology 71: 959-964.
- Seid, A.; Fininsa, C.; Mekete, T.; Decraemer, W.; Wesemael, W. 2015. Tomato (*Solanum lycopersicum*) and root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) - a century-old battle. Nematology 00 (2015) 1-15
- Siti, E.; Cohn, E.; Katan, J. y Mordechai, M. 1982. Control of *Ditylenchus dipsaci* in garlic by bulb and soil treatments. Phytoparasitica. 10: 93-100.
- Stapleton, J.J. y DeVay, J.E. 1984. Thermal components of soil solarization as related to changes in soil and root microflora and increased plant growth response. Phytopathol. 74: 255-259.
- Tamietti, G. y Garibaldi, A. 1987. Effectiveness of soil solarization against *Rhizoctonia solani* in Northern Italy. Proc. CEC/IOBC Group Meeting on Integrated Pest management in protected vegetable crops.

CAPITULO II

Síntomas asociados a la presencia de nematodos formadores de agallas en el cultivo de tomate rojo *S. lycopersicum* L.

Resumen

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 afectan principalmente las raíces de las plantas, interfieren la producción y translocación de sustancias provenientes de las raíces, como las hormonas giberelinas y citoquininas, también de sustancias que regulan la fotosíntesis. Los síntomas en la parte aérea de la planta el daño se manifiesta a través de: Amarillamiento de plantas con aparente deficiencia de nutrientes, debilitamiento general de las plantas, inhibición de la brotación, marchitamiento, enanismo y la reducción de los rendimientos de 10 a 30 %.

Introducción

La distribución de las especies de nematodos parásitos de plantas está dada por una serie de factores dentro de los cuales destacan: tipo de cultivo, tipo de suelo y condiciones climatológicas, entre otros (Sasser, 1977; Brodie, 1984). Se presenta en regiones tropicales, subtropicales y en lugares con temperaturas bajas, su amplia distribución se atribuye también a factores como capacidad para tolerar condiciones ambientales adversas, su alto potencial reproductivo, su diseminación a través del agua de riego, por maquinaria, implementos agrícolas y material vegetal infestado. Además, de que varias especies vegetales diferentes a los cultivos son hospederos alternativos (Cervantes-Moreno, 2014).

1. Forma de invasión de los nematodos en las raíces hospederas

Los nematodos tienen un alto grado de motilidad (facultad de moverse en respuesta a ciertos estímulos), un sistema sensorial más sensitivo y capaces de seleccionar de forma activa las plantas necesarias para su alimentación y reproducción. Poseen un sistema nervioso central y órganos quimiosensoriales complejos llamados anfídias. Las señales quimio-sensoriales son importantes para la atracción del nematodo a las raíces de su hospedante, así como para la identificación de los sitios apropiados para la penetración e iniciación de la alimentación (Arias, 2009).



Figura 1. Forma de penetración del nematodo. Extraído de Ledger *et al.* (2006).

Los nematodos formadores de agallas son parásitos biótrofos (que sólo pueden vivir, alimentarse y multiplicarse en otro organismo vivo-hospedante) que han evolucionado y desarrollado estrategias para infestar de manera exitosa diversas especies de plantas (Figura 1). Las etapas más propensas para el cultivo son en la floración-fructificación. Inducen la re-diferenciación de las células del parénquima en las raíces, en células de alimentación multinucleadas e hipertrofiadas. Ellas constituyen una fuente exclusiva de nutrientes para su desarrollo y conducen a la formación de agallas, síntoma primario de la infestación. Estas

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

La respuesta de las plantas a la infección de *Meloidogyne* sp. ocurre en dos niveles, el primero afecta toda la planta con una reducción en la fotosíntesis, el crecimiento y el rendimiento, debido a que se interfiere la síntesis y traslocación de reguladores de crecimiento producidos por las raíces. La segunda forma ocurre a nivel celular en raíces y modifica su morfología y fisiología, y las transforma en células gigantes multinucleadas, altamente especializadas, llamadas sincitias o células de transferencia (Cervantes-Moreno *et al.*, 2014).

Los J2 son atraídos a la zona de elongación, donde penetran la raíz y luego migran intercelularmente, separando las células por la lámina media en el tejido cortical por fuerzas mecánicas y secreciones enzimáticas del nematodo, migran hacia las raíces y circundan la misma en la región del meristemo apical. Luego se mueven hacia arriba y del centro de la raíz a la zona de diferenciación. En el sitio de alimentación, los nematodos inducen un proceso de rediferenciación que conlleva a la formación de células de alimentación multinucleadas, llamadas células gigantes, resultado de divisiones nucleares repetidas de la célula nodriza inicial sin citoquinesis (Figura 2).

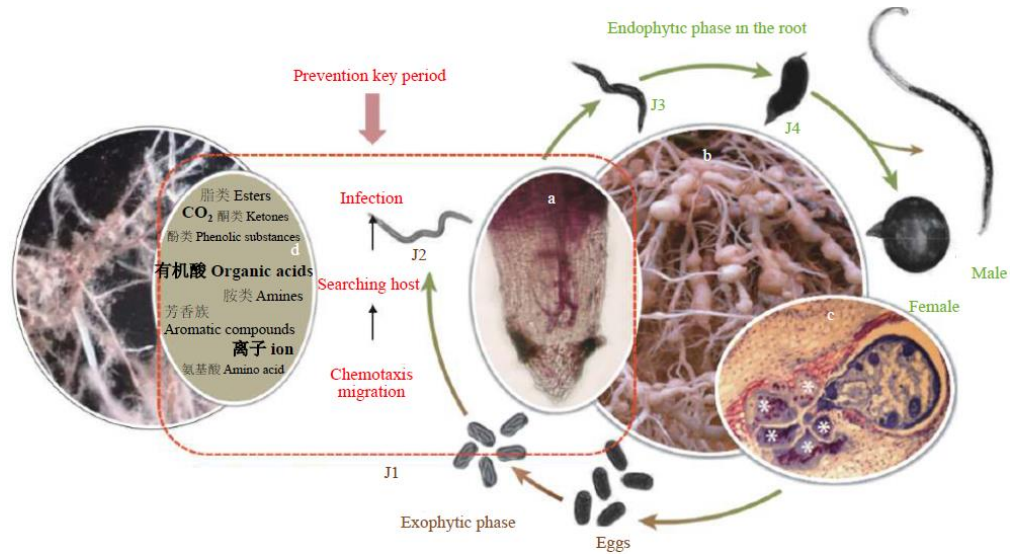


Figura 2. Principio de quimiotaxis como mecanismo mediado por los exudados de las raíces.

Extraída de Tong-tong *et al.* (2019).

Cada nematodo desencadena el desarrollo de hasta doce células gigantes, cada una conteniendo aproximadamente 100 núcleos. Los múltiples núcleos en las células gigantes resultan de la mitosis desacoplada de la citoquinesis. Además, los núcleos individuales tienen alto contenido de ADN. Las células gigantes son metabólicamente activas, se desarrolla el decrecimiento típico de la pared celular, éste fenómeno aumenta la toma de solutos del sistema vascular. Cerca, las células de la corteza, el periciclo y el parénquima vascular aumentan de tamaño y se dividen, formando la agalla (Figura 3) (Arias, 2009)

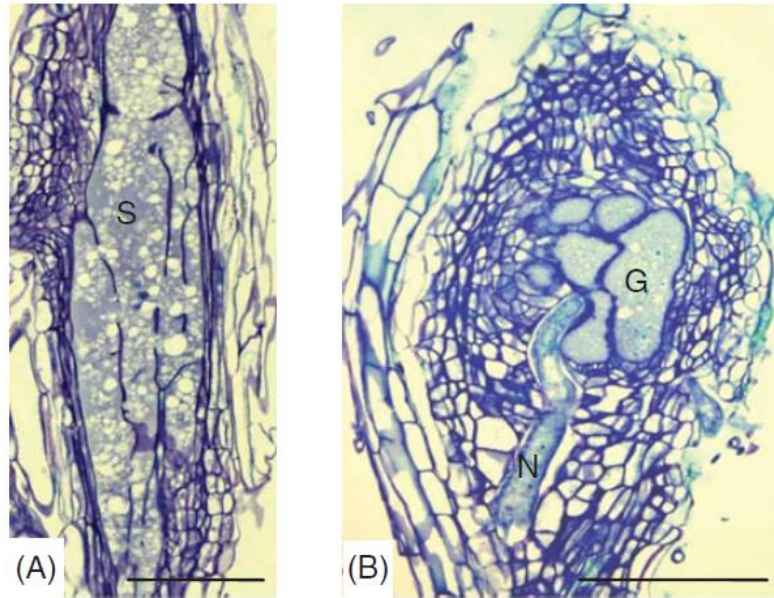


Figura 3. Formación de agallas en raíces. A) Célula multinucleada S: Sincitio y (B) Sección radical con 10 días posteriores a la infección por *M. incognita*. G: Célula gigante; N, Nematodo. Extraído de Cervantes-Moreno *et al.* (2014)

La pared celular de la planta constituye una barrera contra los microorganismos principalmente de polímeros de carbohidratos, como celulosa, hemicelulosa, pectina, proteínas de pared y posiblemente, compuestos fenólicos. Los nematodos han adquirido sistemas enzimáticos para la degradación de paredes celulares vegetales a través de endoglucanasas (Ledger *et al.*, 2006).

Las células vegetales responden a ataque de nematodos produciendo superóxido (O_2^-) y su producto de dismutación, peróxido de hidrógeno (H_2O_2), los cuales son tóxicos para el parásito. Una producción intensa de H_2O_2 durante las interacciones compatibles entre tomate (*Solanum lycopersicum*) y *M. incognita*, en las células que rodean la migración de los nematodos y en las células de alimentación recientemente diferenciadas (Melillo *et al.*, 2006).

2. Daños que ocasionan en las plantas

Inducen la formación de agallas en la raíz, lo que dificulta la absorción de agua y nutrientes, afectando el crecimiento de la planta (Figura 4). Formación de agallas en raíces. Los nematodos se transmiten por suelo contaminado, herramientas y plantas contaminadas.



Figura 4. Síntomas por la presencia de nematodos. A) Cultivo sano en producción; B) Síntomas de la presencia de nematodos; C) Planta con raíces agalladas por nematodos y D) Hojas virosas por presencia de nematodos.

Conclusiones

Los nematodos son microorganismos que se alojan en la raíz de la planta de tomate, algunos pueden sobrevivir hasta un año o más en el suelo sin presencia de plantas hospedantes, sin embargo, en el caso del género *Meloidogyne* no podría completar su ciclo de vida en su ausencia, es un factor importante por ser endoparásito.

Para que los síntomas de la enfermedad causada por nematodos se manifiesten, deben existir los elementos que conforman el triángulo de la enfermedad: un patógeno (nematodo) genéticamente virulento, el medio ambiente favorable y las variedades de tomate genéticamente susceptibles, estos factores deberán permanecer por un periodo de tiempo.

Otros factores que benefician la presencia de nematodos son las condiciones ambientales como temperaturas del suelo, humedad y tipos de suelo que influyen en la estructura del microbioma del suelo y la estabilidad de sus beneficios y su supresión de plagas en el campo.

Es necesario establecer estrategias integrales, capaces de reducir el inóculo primario o la tasa de multiplicación de las poblaciones.

Literatura citada

- 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.
- Brodie, B. B. 1984. Nematode parasites of potato. Pp 167-212. In: R.W. Nickle (ed.) Plant and Insect nematodes. Marcel Dekker Inc., New York, USA.
- Cervantes-Moreno, R., J. E. Rodríguez-Pérez, C. Carrillo-Fonseca, J. Sahagún-Castellanos y E. Rodríguez-Guzmán (2014) Tolerancia de 26 colectas de tomates nativos de México al nematodo *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 2: 5-18.

- 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
- Ledger, T.N., Jaubert, S., Bosselut, N., Abad, P., Rosso, M.N., 2006. Characterization of a new beta-1,4-endoglucanase gene from the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* and evolutionary scheme for phytonematode family 5 glycosyl hydrolases. Gene 382, 121–128.
- Melillo, M.T., Leonetti, P., Bongiovanni, M., Castagnone-Sereno, P., Blevé-Zacheo, T., 2006. Modulation of reactive oxygen species activities and H₂O₂ accumulation during compatible and incompatible tomato-root-knot nematode interactions. New Phytol. 170, 501–512.
- Sasser, N.J. 1977. Worldwide dissemination and importance of the root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). Journal of Nematology 9:26-29
- Tong-Tong, L., L.Qiao-Fang, W. Nan-Qi, W. T-Qi, L. Huan-huan, Z. Yuan-Mei. 2019. The rhizosphere regulation mechanism and use of root exudates to inhibit continuous monocropping barrier by nematode disease. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*. 25(6): 1038–1046

CAPITULO III

Identificación de unidades de producción con antecedentes de presencia de nematodos fitopatógenos y su importancia mediante muestreo de suelos e identificación de métodos de control utilizados.

Resumen

Los nematodos formadores de agallas afectan el desarrollo y rendimiento del cultivo de tomate, los cultivos establecidos en suelo son los más afectados. El objetivo del trabajo fue la caracterización de 28 muestras de suelo colectadas en unidades de producción de tomate *S. lycopersicum* L. del estado de Oaxaca de tres regiones: Mixteca, Valles centrales y Sierra Norte, donde se detectaron antecedentes de la presencia de nematodos fitopatógenos en ciclos actuales y anteriores. Se determinaron parámetros físicos y químicos básicos (Textura, Densidad aparente (Dap), Humedad, Color, Conductividad Eléctrica (CE) y pH). Se utilizó un cuestionario para identificar las principales técnicas de control y poder sugerir otras alternativas bioecológicas. Se encontró que existen unidades de producción de tomate a diferentes altitudes de las tres regiones de Oaxaca, fue posible identificar síntomas en el cultivo por la presencia de nematodos en el rango de 373-2415 msnm, lo cual confirma su presencia y distribución. El pH de los suelos analizados de los Valles Centrales, Mixteca y Sierra Norte osciló en un rango de 4.67-7.89, 6.65-8.63, 6-36-7.75 respectivamente con variaciones texturales desde suelos arenosos hasta arcillosos. Analizar los tipos de suelos es determinante para identificar los factores que influyen en la distribución de nematodos fitoparásitos de una zona a otra, además para planificar correctamente las actividades productivas para un manejo sostenible del recurso suelo.

Palabras clave: propiedades fisicoquímicos del suelo, nemátodos formadores de agallas, Invernaderos.

Introducción

Es importante conocer y entender las interacciones que se establecen entre los nematodos y las características edáficas para desarrollar programas o estrategias de manejo más eficientes y redituables para los productores en productoras de tomate (*Solanum lycopersicum*). Los nematodos son influenciados por un conjunto de factores tales como suelos arenosos y limo arenosos con temperaturas de 15-23°C y con humedad del 19% (Ferris, 1999).

Las características físico-químicas del suelo pueden ser factores que influyen de forma considerada tanto en la movilidad, en la tasa reproductiva, como en el nivel de infestación y además en el nivel de daño que los nematodos inducen al cultivo (Cabrera-Hidalgo *et al.*, 2014)

El uso de mapas interpolativos en determinadas zonas puede ser combinadas con el uso de otros métodos multivariados para no utilizar una sola variable como criterio que indique la ocurrencia y estimación de los riesgos que pueda tener la presencia y multiplicación de cierto fitopatógeno (Mora-Aguilera *et al.*, 2013).

Martínez *et al.* (2015) en un estudio realizado en el cultivo de papaya, concluyeron que el pH y la conductividad eléctrica no ocasionaron efecto sobre las poblaciones de nematodos fitoparásitos, pero la materia orgánica y la textura de los suelos si influyeron, de tal manera que conforme aumentó la primera las poblaciones de nematodos disminuyeron, mientras que debido a los tipos de suelo los géneros *Pratylenchus* y *Meloidogyne* prosperaron más en los suelos con textura arenoso franca, en tanto que los géneros *Rotylenchulus* y *Helicotylenchus*

prosperaron en forma similar en los cuatro tipos de suelos. Los nematodos fitoparásitos se desarrollan mejor en suelos con textura porosa, como es el caso de las texturas arenosa, arenoso franca y franco arenosa; sin embargo, en suelos con texturas limosas, su ciclo de vida se ve limitado, como en el suelo con textura franco arcillo arenosa.

El porcentaje de arcilla disminuye la población de nematodos fitoparásitos entre 4 y 5 nematodos fitoparásitos por cada uno por ciento de incremento en la composición del suelo. Concluyeron así, que la característica edáfica más importante es el porcentaje de arcilla. Estos resultados son similares a los encontrados por Jaraba *et al.* (2014), quienes indican que el agallamiento y las poblaciones de *M. incognita* se incrementan directamente con el contenido de arena en el cultivo del algodón.

De acuerdo con Palm y Walter (1991), la amplia variación de los medios bióticos, físicos y químicos, dentro de las categorías de texturas, hace difícil generalizar la repercusión sobre la vida y el movimiento de nematodos en el suelo. Además, el tamaño de las partículas y los microporos hacen que el movimiento del aire y agua sea más restringido. Estas condiciones hacen que los niveles de oxígeno sean más bajos y, en consecuencia, el metabolismo, movimiento e infectividad de los juveniles se afecte, además del efecto negativo sobre el crecimiento y reproducción de las hembras (Muñoz, 2011).

Guzmán *et al.* (2008) en su estudio realizado para evaluar las condiciones edáficas sobre la presencia de nematodos, mencionaron que la variación del pH, de 5 hasta 7.6, no tuvo efecto sobre las poblaciones de nematodos fitoparásitos y con respecto al contenido de materia orgánica (MO) de los suelos cuyos valores registrados oscilaron entre 1.58 a 2.78%, considerados como suelos con contenido moderadamente alto de MO, reportaron que en este

tipo de suelos, el ciclo de vida de los nematodos fitoparásitos fue afectado debido al desarrollo de organismos antagónicos, como bacterias y hongos nematófagos y quitiniformes, así como a la competencia por espacio y alimento de los nematodos de vida libre.

En los agroecosistemas hay perturbaciones periódicas en el suelo, como el uso de plaguicidas y fertilizantes y cada uno tiene un efecto específico, que disminuyen la diversidad (Timper, 2014). La diversidad y abundancia de nematodos en todo tipo de suelos y hábitats acuáticos, su ciclo de vida relativamente corto (20-30 días) y la sensibilidad que tiene ante alteraciones ambientales, los hace importantes bioindicadores de condiciones ecológicas Huang y Cares (2006); debido además a su rápida respuesta a perturbaciones ambientales, como las labores agrícolas o la aplicación de insumos químicos (Yeates, 2003; Ferris, 2010). Responden rápidamente a los cambios en la disponibilidad de alimentos (Diemont y Martin, 2005) y representan una herramienta útil para medir el impacto antropogénico sobre la salud y sustentabilidad de suelo (Salas *et al.*, 2015).

La diversidad de nematodos en los agroecosistemas y la abundancia de ellos en los diferentes niveles tróficos son ampliamente controladas por las condiciones biofísicas, químicas e hidrológicas del suelo (Yeates y Bongers, 1999). Se alimentan de una amplia gama de organismos; por ende son agrupados con respecto a sus hábitos alimenticios. Yeates *et al.* (1999) los agrupa en: bacteriófagos, fungívoros, depredadores, omnívoros y fitófagos.

En las últimas décadas ha existido mayor interés por la evaluación de las propiedades del suelo y entender los efectos de las prácticas de manejo en la calidad del suelo (Schoenholtz *et al.*, 2000; Benintende *et al.*, 2008; Kaschuk *et al.*, 2011). Las prácticas de manejo como la

preparación del suelo, uso de fungicidas, insecticidas, nematocidas y herbicidas pueden disminuir la diversidad microbiana del suelo (Timper, 2014).

En los estudios sobre los agroecosistemas, a los nematodos se les ha restado la importancia que tienen, solo se les ha asumido en estado del “patógeno” cuando su densidad de población es muy alta y que representa pérdidas considerables en su productividad (Moura y Franzener, 2017).

La selección de dos o más nichos ecológicos diferentes permite observar la variabilidad de especies de nematodos (Barker, 1985).

Por lo descrito anteriormente, el objetivo del trabajo fue realizar la colecta de muestras de suelo en invernaderos con producción de tomate y presencia de nemátodos formadores de agallas, para determinar la relación de los parámetros físico-químicos y la presencia de nematodos en tres regiones del estado de Oaxaca.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

Se caracterizaron 28 de 66 muestras de suelo colectadas de tres zonas productoras importantes de tomate *S. lycopersicum* L. del estado de Oaxaca (Mixteca, Valles Centrales y Sierra Norte), en el laboratorio de suelos del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Regional (CIIDIR Unidad Oaxaca), del Instituto Politécnico Nacional (IPN), que se localiza en la comunidad de Santa Cruz, Xoxocotlán, Oaxaca, México.

1.- Selección de los sitios para el muestreo de suelos

Se identificaron las principales regiones y municipios productores de esta hortaliza con base en la superficie destinada a su siembra y principalmente a la cantidad de unidades de producción existentes en cada región. De acuerdo al SIAP (2017), el estado de Oaxaca

contaba con 757.82 hectáreas cultivadas de tomate *S. lycopersicum* L., de las cuales 572.7 ha bajo el sistema de agricultura protegida con un total de 1077 unidades de producción (Tabla 1), distribuidas en todas las regiones del estado (Tabla 2).

Tabla 1. Superficie cultivada y unidades de producción de tomate *S. lycopersicum* L. a nivel nacional y para el estado de Oaxaca bajo el sistema de agricultura protegida.

Entidad Federativa	Superficie total cultivada en invernaderos (ha)	Unidades de producción
Nacional	12 540.07	18 127
Oaxaca	572.7	1 077

Tabla 2. Unidades de producción de tomate *S. lycopersicum* L. bajo el sistema de agricultura protegida en cada región del estado de Oaxaca.

Región del estado	Unidades de producción
Mixteca	438
Valles centrales	298
Sierra Norte	117
Sierra Sur	136
Istmo, Costa, Papalopan, Cañada	88
Total	1077

Nota: Unidades de producción representativas estadísticamente: **166**

Para garantizar la representatividad estadística, se realizó el cálculo de tamaño de muestra considerando el total de las unidades de producción identificadas en el estado de Oaxaca,

utilizando una ecuación estadística para calcular el tamaño de muestra de la población finita o conocida y saber las unidades sujetas a muestreo, resultando un total de **166**.

Donde:

$$N = \frac{N * Z^2 \alpha p * q}{d^2 * (N-1) + Z^2 \alpha p * q}$$

n =tamaño de la muestra
 $Z\alpha$ =valor normal estándar al nivel de confianza de 95 %=1.96
 p =probabilidad de éxito=0.5
 q =probabilidad de fracaso=0.5
 N =Tamaño conocido de la población o universo de cada región
 e =error muestral=0.07

Se ubicaron e identificaron 50 municipios con mayor superficie y unidades de producción cultivadas de *S. lycopersicum* L. para realizar el muestreo, de los cuales 20 correspondieron a la región de los Valles centrales, 17 a la región de la Mixteca y 13 a la región de la Sierra Norte (Tabla 3).

Tabla 3. Municipios de las regiones de los Valles Centrales, Mixteca y Sierra Norte con cultivo de *S. lycopersicum* L. seleccionadas para muestreo de suelos.

Municipios de la región de los Valles Centrales	Superficie cultivada (ha)	Municipios de la región de la Mixteca	Superficie cultivada (ha)	Municipios de la Sierra Norte	Superficie cultivada (ha)
Ejutla de Crespo	35.0	Tezoatlán de Segura y Luna	14.5	Nuevo Zoquiapam	16.5
Ocotlán de Morelos	21.0	Santiago Yosondúa	6.4	San Miguel Alopam	5.0
Santiago Matatlán	21.0	Santiago Huajolotitlán	6.0	San Andrés Solaga	3.0
San Pablo Huixtepec	17.0	San Juan Mixtepec	4.5	Sta. Ma.Tlahuitoltepec	1.9
San Baltazar Chichicapam	11.0	Santo Domingo Tonalá	4.25	Teococuilco de Marcos Pérez	1.5
Zimatlán de Álvarez	11.0	Huajuapán de León	3.7	Santa María Tepantlatli	1.3
Miahuatlán de Porfirio Díaz	10.0	Santa Cruz Nundaco	3.5	San Juan Tabaá	0.5
San Pedro Apóstol	9.0	Santa María Nativitas	3.0	San Pedro y San Pablo	0.5
San Andrés Ixtlahuaca	8.0	Asunción Nochixtlán	1.5	Ayutla	0.5
Santa Catarina Minas	8.0	San Pedro Molinos	1.4	San Baltazar Yatzachi el Bajo	0.4
				Santiago Zochila	0.4

Santa María Atzompa	8.0	Santo Domingo Yanhuatlán	1.0	San Mateo Cajonos	0.1
San Nicolás Yaxe	8.0	Heroica Ciudad de Tlaxiaco	0.7	Villa Hidalgo Yalalag	0.1
San Antonino Castillo Velasco	7.0	San Pedro y San Pablo Teposcolula	0.6	San Francisco Cajonos	0.1
Santa María Ayoquezco de Aldama	6.0	Santa Catarina Tayata	0.6		
Villa de Zaachila	6.0	Zapotitlán Lagunas	0.5		
San Pedro Mártir	5.0	Villa Tejupam de la Unión	0.4		
Santiago Suchilquitongo	5.0	Santiago Tillo	0.3		
La Cienega Zimatlán	4.0				
San Dionisio Ocotepc	4.0				
San Pablo Huitzo	2.0				
		Total de municipios por región			
	20		17		13
Total: 50					

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP 2018).

2.-Forma de muestreo de suelos y raíces

Se muestrearon invernaderos en producción en etapas avanzadas de desarrollo (floración, amarre de frutos y fructificación) en el ciclo agrícola 2018. En cada invernadero o predio seleccionado se realizó un muestreo aleatorio sistemático tomando cada submuestra de suelo a intervalos de 10 m a intervalos uniformes siguiendo un patrón en forma de V a través del campo. Las muestras de suelo se recolectaron de la rizósfera a una profundidad de 15-20 cm con la ayuda de una pala recta, eliminando los primero 3-5 cm de suelo superficial. Se tomaron 10 submuestras por sitio de muestreo de 100-150 g cada una para obtener una muestra compuesta de 1-1.5 kg, las cuales se llevaron al laboratorio de suelos del CIIDIR para su caracterización. Se tuvo el cuidado de coleccionar suelos en capacidad de campo o ligeramente inferior, cuando estaba ni muy seco ni muy húmedo (Figura 5).

Además, se muestrearon raíces de 10 plantas en cada sitio para evaluar el índice de agallamiento de mediante la escala 0-10 propuesta por Bridge y Page (1980). Los signos y

síntomas de los posibles daños ocasionados por nematodos en las partes aéreas de las plantas o raíces, se registraron en el momento del muestreo, tales como achaparramientos o síntomas de deficiencias nutrimentales o algunas otras anormalidades que suponían su presencia.

En cada sitio de muestreo se registraron las coordenadas geográficas UTM en el centro de cada parcela muestreada con un equipo portátil de Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS) marca Garmin modelo GPS Etrex Vista® 60CSx. Se describieron de manera general algunos aspectos bióticos y abióticos relevantes como: tipo de vegetación aledaña a los invernaderos de producción, diversidad de plantas, tipo de labranza, uso de agroquímicos, historia del uso de suelo, rotación de cultivos, los cuales pudieran afectar la cantidad, el tipo y distribución de nematodos fitopatógenos de cada sitio (Anexo 1) Se puso especial énfasis en identificar los métodos de control utilizados por los responsables de las unidades de producción visitados.



Figura 5 Muestreo de suelos. A). Sitio para toma de muestra de suelos en cultivo de tomate;
B) Profundidad de muestreo en zona radicular

3.-Determinación de las propiedades físicas y químicas básicas de los suelos colectados con antecedentes de presencia de nematodos fitopatógenos.

28 muestras de suelos fueron analizadas en algunas de sus propiedades físicas y químicas (Tabla 4 y Figura 6) en base a los procedimientos descritos en la Norma Oficial Mexicana

NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.



Figura 6. Muestras de suelo para su análisis

Tabla 4. Tipos de pruebas y determinaciones analíticas de los suelos

Pruebas físicas / Método		Pruebas químicas / Método	
Textura	AS-09	pH Método	AS-02
Densidad aparente	AS-03		
Humedad	AS-05	Conductividad Eléctrica	AS-18
Color	AS-22 (Carta Munsell)		

La textura del suelo y el contenido de materia orgánica (MO) se determinaron, respectivamente, por los métodos del hidrómetro de Bouyoucos (Método AS-09-1998). La textura del suelo se determinó con los porcentajes de limo, arena y arcilla correspondientes al triángulo de texturas (USDA, 1999).

El pH y la conductividad eléctrica (CE) se midieron en el extracto de saturación del suelo a una relación (1:2) mediante un potenciómetro y un conductímetro respectivamente.

La determinación de la densidad aparente (Dap) del suelo se realizó a través del método AS-03 utilizando parafina. La Dap de una muestra de suelo se pudo calcular a partir de dos parámetros: la masa del suelo y el volumen total, que incluye el volumen de los sólidos y el

volumen ocupado por el espacio poroso. La masa se calculó pesando un terrón y el volumen de manera indirecta recubriendo el terrón con una capa de parafina que fue pesada sumergida en agua. Se corrigió el valor de la densidad del agua por efecto de temperatura, por el cuadro de equivalencias especificadas en la Norma.

La determinación del color se realizó a través del método AS-22, utilizando la carta Munsell de colores de suelos, basado en la comparación del color en el suelo tanto en seco como en húmedo y determinando parámetros de matiz (Hue), Brillo (Value) e Intensidad (Chroma) (Figura 7). Para esto se utilizaron 100 g del suelo seco y tamizado en malla de 2 mm de abertura los cuales se colocaron en una cápsula de porcelana tanto seco como en húmedo.



Figura 7. Determinación del color de suelo

4.-Análisis de datos

Se construyó una matriz de datos de las 28 muestras de suelo de las tres regiones productoras de tomate en el estado de Oaxaca, se analizaron los rangos de valores obtenidos y se compararon con otros estudios relacionados.

5.-Resultados y discusión

5.1. Muestras de suelo tomadas por localidad y región

Se colectaron 66 muestras de suelo de un número similar de unidades de producción (invernaderos) activos de 28 localidades de 25 municipios distribuidos en tres regiones principales de producción de *S. lycopersicum* L. (Tabla 5).

Tabla 5. Muestras de suelo colectadas de tres zonas productoras de tomate *S. lycopersicum* L. en el estado de Oaxaca.

Región	Municipios	Localidades	Rango de altitud (msnm)	Unidades de producción muestreadas	Productores visitados	Muestras de suelo
Valles Centrales Mixteca	11	13	1373-2150	34	43	34
Sierra Norte	8	9	1840-2415	21	19	21
	6	6	1801-2100	11	11	11
Total	25	28		66	73	66

Por cada región de interés se registró la cantidad de muestras de suelo tomadas en cada localidad y unidad de producción (Tabla 6, 7 y 8).

Tabla 6. Muestras de suelo colectadas de invernaderos de la Región de los Valles Centrales.

Municipio	Localidad	Altitud msnm	Unidades de producción muestreadas	Productores visitados	Muestras de suelo
San Pablo Cuatro Venados	Río Jalapilla	1914	4	8	4
Santa Catarina Minas	Santa Catarina Minas	1536	2	1	2
San Dionisio Ocotepc	San Dionisio Ocotepc	1654	2	2	2
San Dionisio Ocotepc	El Kascajal	1373	2	2	2

San Miguel Peras	El Temascal	2150	1	3	1
San Pedro Apóstol	San Pedro Apóstol	1488	2	2	2
Ejutla de Crespo	Monte del Toro	1550	3	5	3
Ejutla de Crespo	Santa Martha	1482	3	3	3
	Chichihualtepec				
San Pablo Huixtepec	San Pablo	1477	2	3	2
	Huixtepec				
Zimatlán de Álvarez	Zimatlán de	1496	2	2	2
	Álvarez				
San Pablo Huitzo	San Pablo Huitzo	1697	4	4	4
San Lorenzo Cacaotepec	San Lorenzo	1598	3	3	3
	Cacaotepec				
San Baltazar	San Baltazar	1546	4	5	4
Chichicapam	Chichicapam				
		Subtotal	34	43	34

Tabla 7. Muestras de suelo colectadas de invernaderos de la Región de la Mixteca.

Municipio	Localidad	Altitud msnm	Unidades de producción muestreadas	Productores visitados	Muestras de suelo
Asunción Nochixtlán	Asunción Nochixtlán	2080	5	3	5
Santo Domingo Yanhuitlán	Santo Domingo Yanhuitlán	2145	2	2	2
Santiago Tillo	Santiago Tillo	2080	2	2	2
Santa María Nativitas	San José	2400	3	2	3
	Monteverde				
Santa María Nativitas	San Pedro	2415	1	2	1
	Buenavista				
San Miguel Achiutla	San Sebastián	1840	2	2	2
	Atoyaquillo				
Santa Catarina Tayata	Santa Catarina	2100	2	2	2
	Tayata				
Santiago Yolomécatl	Loma Larga	2021	1	1	1
Santiago Yosonduu	San Juan	2244	3	3	3
	Mixtepec				
		Subtotal	21	19	21

Tabla 8. Muestras de suelo colectadas de invernaderos de la Región de la Sierra Norte.

Municipio	Localidad	Altitud msnm	Unidades de producción muestreadas	Productores visitados	Muestras de suelo
-----------	-----------	-----------------	--	--------------------------	----------------------

San Pablo Guelatao	San Pablo Guelatao	1801	2	2	2
Ixtlán de Juárez	Ixtlán de Juárez	2032	2	2	2
San Pedro Cajonos	San Pedro Cajonos	1857	3	3	3
San Juan Tabaa	San Juan Tabaa	2100	3	3	3
San Baltazar Yatzachi, El Bajo	San Baltazar Yatzachi, El Bajo	1600	2	2	2
Santo Domingo Xagacía	Santo Domingo Xagacía	1580	1	1	1
Subtotal			13	13	13

5.2. Propiedades físicas y químicas básicas de los suelos muestreados de tres regiones

El pH de los suelos analizados de la región de los Valles Centrales, Mixteca y Sierra Norte de Oaxaca oscilaron en un rango de 4.67-7.89, 6.65-8.63, 6-36-7.75 respectivamente, lo que indica que el cultivo de tomate se adapta a ± 2.63 a partir del pH neutral. Martínez *et al.* (2015) en un estudio realizado en el cultivo de papaya, concluyeron que el pH y la conductividad eléctrica no ocasionaron efecto sobre las poblaciones de nematodos fitoparásitos a diferencia de la materia orgánica (MO) y la textura de los suelos, demostraron que al aumentar la MO las poblaciones disminuyeron.

Tabla 9. pH, Conductividad eléctrica y Porcentaje de humedad de suelos de unidades de producción de los Valles Centrales, Oaxaca.

Sitio	Municipio	Localidad	Paraje	pH	Conductividad Eléctrica dS ^{m-1}	Humedad %
1(M4)	Santa Catarina Minas	Santa Catarina Minas	El Llano	7.84	1.05	2.46
2(2)	San Dionisio Ocotepc	Rancho el Kascajal	El Pedregal	7.03	1.09	6.82
3(18)	San Dionisio Ocotepc	Rancho el Kascajal	El Río	7.89	1.39	13.59

4(19)	San Dionisio Ocotepec	Rancho el Kascajal	El Río	7.89	1.50	14.26
5(8)	San Dionisio Ocotepec	San Dionisio Ocotepec	El Barrio	7.59	3.95	10.23
6(6)	Ejutla de Crespo	Monte del Toro	El Vado	6.57	3.57	7.75
7(5)	San Pablo Cuatro Venados	Río Jalapilla	El Río	4.67	0.74	1.86
8(6)	San Pablo Cuatro Venados	Río Jalapilla	El Río	4.76	0.61	4.84
9(22)	Santa Cruz Xoxocotlán	Santa Cruz Xoxocotlán	Campo	8.05	0.16	1.23
10(6)	Zimatlán de Álvarez	Zimatlán de Álvarez	El crucero	6.92	3.51	12.45
11(5)	San Pablo Huitzo	San Pablo Huitzo	La Nave	5.68	2.37	8.43

Tabla 10. pH, Conductividad eléctrica y Porcentaje de humedad de suelos de unidades de producción de la región de la Mixteca, Oaxaca.

Sitio	Municipio	Localidad	Paraje	pH	Conductividad Eléctrica dS ^{m-1}	Humedad %
1(7)	San Miguel Achiutla	San Sebastián Atoyaquillo	La Loma	8.55	0.196	7.52
2(9)	Santa Catarina Tayata	Santa Catarina Tayata	La Puerta	8.01	2.214	6.62
3(10)	San Juan Mixtepec	Yosondú	La Presa	6.65	2.883	7.50
4(11)	San Juan Mixtepec	Yosondú	Ojo de Agua	8.61	0.308	12.32
5(12)	San Juan Mixtepec	Yosondú	La Ladera	6.83	1.617	12.36
6(15)	Santiago Yolomécatl	Santiago Yolomécatl	Loma Larga	7.41	1.292	7.77
7(20)	Santo Domingo Yanhuitlán	Santo Domingo Yanhuitlán	La Curva	7.86	0.232	9.19
8(21)	Santa María Nativitas	San José Monteverde	La pista	8.07	0.893	6.85

9(23)	Santa María Nativitas	San Pedro Buenavista	Loma Blanca	8.63	0.445	3.68
10(31)	Santiago Tillo	Santiago Tillo	El Ejido	6.75	1.569	7.85

Tabla 11. pH, Conductividad eléctrica y Porcentaje de humedad de suelos de unidades de producción de la Sierra Juárez, Oaxaca.

Sitio	Municipio	Localidad	Paraje	pH	Conductividad Eléctrica dS ^{m-1}	Humedad %
1(4)	San Pablo Guelatao	San Pablo Guelatao	La Cheta	7.63	0.48	7.37
2(26)	Santo Domingo Xagacía	Santo Domingo Xagacía	La Piedra	7.75	0.18	6.07
3(18)	San Pablo Yaganiza	San Pablo Yaganiza	El Manatíal	7.37	0.83	6.34
4(15)	Ixtlán de Juárez	Ixtlán de Juárez	Barrio la Y	6.36	1.45	5.34

El color de los suelos de la región de los Valles Centrales tanto para suelo seco como mojado, se registró en su mayoría en el color café (brown), para los suelos de la Mixteca en gris (gray), y para la Sierra Norte en café y negro (brown y black) (con ligeras variaciones, lo que nos indica las variaciones de los tipos texturales de suelo para cada una de las regiones estudiadas desde suelos arenosos hasta suelos arcillosos que repercuten no sólo en el porcentaje de humedad.

Tabla 12. Color del suelo de unidades de producción de tomate de la región de los Valles Centrales, Oaxaca

Sitio	Municipio	Localidad	Paraje	Altitud msnm	Color del suelo			
					Seco		Húmedo	
1(M4)	Santa Catarina	Santa Catarina	El Llano	1536	10YR	Brown	10YR	Very dark
	Minas	Minas			4/3	3/2	grayish brown	

2(24)	Santa Catarina Minas	Santa Catarina Minas	El Llano	1535	10YR 4/2	Dark grayish brown	10YR 2/2	Very dark brown
3(2)	San Dionisio Ocotepc	Rancho el Kascajal	El Pedregal	1373	7.5YR 6/6	Dark gray	7.5YR 3/1	Very dark gray
4(18)	San Dionisio Ocotepc	Rancho el Kascajal	El Río	1377	2.5Y 5/2	Grayish brown	10YR 4/2	Dark grayish brown
5(19)	Ejutla de Crespo	Monte del Toro	El Vado	1542	10YR 6/2	Light brownish gray	10YR 4/2	Dark grayish brown
6(8)	Ejutla de Crespo	Santa Martha Chichihualtepec	La Bodega	1536	10YR 5/1	Gray	7.5YR 3/1	Very dark gray
7(5)	San Pablo Huitzo	San Pablo Huitzo	La Nave	1710	10YR 5/6	Yellowish brown	7.5YR 3/2	Dark brown
8(6)	Zimatlán de Álvarez	Zimatlán de Álvarez	El Crucero	1491	10YR 5/6	Yellowish brown	7.5YR 3/3	Dark brown
9(13)	San Baltazar Chichicapam	San Baltazar Chichicapam	La Presa	1546	10YR 4/6	Dark yellowish brown	5YR 3/3	Dark reddish brown
10(14)	San Pablo Cuatro Venados	Río Jalapilla	El Río	1919	10YR 4/6	Dark yellowish brown	5YR 3/2	Dark reddish brown
11(16)	San Pablo Cuatro Venados	Río Jalapilla	El Río	1919	7.5YR 4/4	Brown	5YR 3/3	Dark reddish brown
12(17)	San Pablo Cuatro Venados	Río Jalapilla	El Río	1918	7.5YR 5/4	Brown	5YR 3/2	Dark reddish brown
13(22)	Santa Cruz Xoxocotlán	Santa Cruz Xoxocotlán	Campo	1530	10YR 5/4	Yellowish brown	10YR 3/3	Dark brown

Tabla 13. Color del suelo de unidades de producción de tomate de la región de la Mixteca, Oaxaca

Sitio	Municipio	Localidad	Paraje	Altitud msnm	Color del suelo	
					Seco	Húmedo

1(7)	San Miguel	San Sebastián	La	1840	7.5YR	Brown	10YR	Dark grayish
	Achiutla	Atoyaquillo	Loma		7/2		4/2	brown
2(9)	Santa Catarina	Santa Catarina	La	2101	7.5YR	Light brown	7.5YR	Dark brown
	Tayata	Tayata	Puerta		6/4		3/3	
3(10)	San Juan	Yosonduu	La	2229	2.5Y	Gray	7.5YR	Black
	Mixtepec		Presa		6/1		2.5/1	
4(11)	San Juan	Yosonduu	Ojo de	2230	2.5Y	Light gray	7.5YR	Dark gray
	Mixtepec		Agua		7/1		4/1	
5(12)	San Juan	Yosonduu	La	2232	10YR	Grayish brown	5YR	Black
	Mixtepec		Ladera		5/2		2.5/1	
6(15)	Santiago	Santiago	Loma	2021	7.5YR	Gray	7.5YR	Dark gray
	Yolomécatl	Yolomécatl	Larga		5/1		4/1	
7(20)	San Juan	Yosonduu	La	2233	7.5YR	Brown	10YR	Very dark
	Mixtepec		Loma		5/2		3/2	grayish brown
8(21)	Santa María	San José	La pista	2269	10YR	Light gray	5YR	Reddish brown
	Nativitas	Monteverde			7/2		4/3	
9(23)	Santa María	San Pedro	Loma	2436	10YR	Light gray	7.5YR	Gray
	Nativitas	Buenavista	Blanca		7/1		5/1	
10(14)	Santo Domingo	Santo Domingo	La	2145	10YR	Light gray	5YR	Reddish brown
	Yanhuitlán	Yanhuitlán	Curva		7/2		4/3	
11(16)	Santiago Tillo	Santiago Tillo	El	2080	10YR	Brown	10YR	Very dark
			Ejido		4/3		3/2	grayish brown

Tabla 14. Color del suelo de unidades de producción de tomate de la región de la Sierra Norte, Oaxaca

Sitio	Municipio	Localidad	Paraje	Altitud msnm	Color del suelo			
					Seco		Húmedo	
1(4)	San Pablo	San Pablo	La Cheta	1801	7.5YR	Dark gray	7.5YR	Black
	Guelatao	Guelatao			4/1		2.5/1	
2(26)	Santo Domingo	Santo Domingo	La Piedra	2439	7.5YR	Brown	10YR 2/1	Black
	Xagacía	Xagacía			4/3			
3(18)	Santo Pablo	San Pablo	El	1540	7.5YR	Brown	10YR 4/2	Dark grayish
	Yaganiza	Yaganiza	Manantial		7/2			brown

4(15)	Ixtlán de Juárez	Ixtlan de Juárez	Barrio la Y	2032	10YR 5/6	Yellowish brown	7.5YR 3/2	Dark brown
-------	------------------	------------------	-------------	------	-------------	--------------------	-----------	------------

La densidad aparente de los suelos muestreados se encuentra en un rango de .1 a 1.9 g/cm³ y suelos franco y arenoso para las unidades de producción en los valles centrales de Oaxaca, 1.2 a 2.3 g/cm³ y suelos tipo arenosos para la mixteca y de 1.2 a 1.7 g/cm³ y suelo tipo franco y arenoso para la Sierra Norte.

Tabla 15. Densidad aparente y tipo de suelo de unidades de producción de los Valles Centrales, Oaxaca.

Sitio	Municipio	Localidad	Paraje	Densidad aparente g/cm ³	Tipo de suelos
1(M4)	Santa Catarina Minas	Santa Catarina Minas	El Llano	1.370	Arenoso
2(2)	San Dionisio Ocotepec	Rancho el Kascajal	El Pedregal	1.266	Francoso
3(18)	San Dionisio Ocotepec	Rancho el Kascajal	El Río	1.906	Arenoso
5(19)	San Dionisio Ocotepec	Rancho el Kascajal	El Río	1.463	Arenoso
6(8)	San Dionisio Ocotepec	San Dionisio Ocotepec	El Barrio	1.324	Francoso
7(5)	San Pablo Cuatro Venados	Río Jalapilla	El Río	1.125	Arcilloso
8(6)	San Pablo Cuatro Venados	Río Jalapilla	El Río	1.517	Arenoso
13(22)	Santa Cruz Xoxocotlán	Santa Cruz Xoxocotlán	Campo	1.792	Arenoso

Tabla 16. Densidad aparente y tipo de suelo de unidades de producción de la región de la Mixteca, Oaxaca.

Sitio	Municipio	Localidad	Paraje	Densidad aparente g/cm ³	Tipo de suelos
1(7)	San Miguel Achiutla	San Sebastián Atoyaquillo	La Loma	1.216	Francoso
2(9)	Yosondú	San Juan Mixtepec	La Presa	1.203	Francoso
3(10)	Yosondú	San Juan Mixtepec	La Presa	1.403	Arenoso
4(11)	Yosondú	San Juan Mixtepec	Ojo de Agua	2.392	Arenoso
5(12)	Yosondú	San Juan Mixtepec	La Ladera	2.068	Arenoso
6(15)	Santiago Yolomécatl	Santiago Yolomécatl	Loma Larga	1.802	Arenoso
7(20)	Yosondú	San Juan Mixtepec	La Loma	1.732	Arenoso
8(21)	Santa María Nativitas	San José Monteverde	La pista	2.016	Arenoso
9(23)	Santa María Nativitas	San Pedro Buenavista	Loma Blanca	1.755	Arenoso

Tabla 17. Densidad aparente y tipo de suelo de unidades de producción de la Sierra Norte, Oaxaca.

Sitio	Municipio	Localidad	Paraje	Densidad aparente g/cm ³	Tipo de suelos
1(4)	San Pablo Guelatao	San Pablo Guelatao	La Cheta	1.635	Arenoso
2(26)	Santo Domingo Xagacía	Santo Domingo Xagacía	La Piedra	1.711	Arenoso
3(18)	Santo Pablo Yaganiza	San Pablo Yaganiza	El Manantial	1.25	Francoso
4(15)	Ixtlán de Juárez	Ixtlán de Juárez	Barrio la Y	1.31	Francoso

Conocer los tipos de suelos permite tener elementos para el manejo adecuado de los cultivos. Uno de los más importantes es la textura del suelo por ser de gran relevancia en los mecanismos de absorción de nutrientes de las raíces, la difusión (P, K) de nutrientes y el flujo de masa (N, S, Ca, entre otros (Lizcano *et al*, 2017). Además, permite conocer la riqueza biológica, como la presencia y abundancia de nematodos. La textura es una característica del suelo muy estable que tiene efectos importantes sobre la movilidad de los nematodos en la interfase del suelo, afecta la penetración a las raíces, su reproducción y sus niveles de población (Guzman-Plazola, *et al.*, 2006).

Los nematodos fitoparásitos viven en el suelo o en el tejido vegetal y su distribución a otras áreas prácticamente está dado por el movimiento antropogénico y otra serie de factores como el tipo de cultivo, tipo, humedad y temperatura de suelo (13.5-23°C) y ambiental (25- 31°C) (Sasser, 1977; Brodie, 1984).

Los rangos de altitud de los sitios muestreados en el presente estudio para las tres regiones de Oaxaca fueron de 1373-2415 msnm (Tabla 12, 13 y 14). Los nematodos se adaptan a un amplio rango de altitudes, como se demostró en estudios realizados por Cid del Prado *et al.* (1998) que indica que los rangos de distribución para cada una de las especies de *Meloidogyne* más importantes para el cultivo de tomate, van desde los 4 a 2379 msnm,

llegando incluso a 2400 msnm (Guzman-Plazola, *et al.*, 2006). En tanto que para las especies del genero *Nacobus* los rangos van de 1030-2280 msnm (Montes-Belmont 2003; Cabrera *et al.*,2014).

Conclusiones

Los atributos físicos del suelo están correlacionados con las propiedades químicas y la dinámica de los elementos constituyentes de la fertilidad y de la diversidad biológica.

Es importante considerar que la técnica de muestreo de suelos, el análisis y la interpretación de los resultados son consideradas como herramientas fundamentales para el desarrollo de cualquier proyecto productivo o de un determinado tipo de estudio como la presencia de nematodos fitopatógenos y obtener posibles correlaciones para la planificación adecuada de las actividades productivas que se reflejarán mejor calidad de los productos cosechados pero sobre todo en un manejo sostenible del recurso suelo.

Referencias citadas

- Brodie, B. B. 1984. Nematode parasites of potato. Pp 167-212. In: R.W. Nickle (ed.) Plant and Insect nematodes. Marcel Dekker Inc., New York, USA.
- Cabrera Hidalgo, A. J., G. Valdovinos Ponce, G. Mora Aguilera, A. Rebollar Alviter, y N. Marbán Mendoza. 2014. Ocurrencia de *Nacobus aberrans* en cultivos hortícolas del noroeste de Michoacán. *Nematropica* 44:107- 117.

- Carrillo, F. J. A.; García, E. R. S.; Allende, M. R.; Márquez, Z. I. y Cruz, O. J. E. 2000. Identificación y distribución de especies del nematodo nodulador (*Meloidogyne* spp.) en hortalizas en Sinaloa, México. Rev. Mex. Fitopatol. 18(2):115-119.
- Cid del Prado I., Hernández, J., Espinoza, T.V., Tovar, S.A. Torres, C.R. 1998. Distribución geográfica y frecuencia de especies de *Meloidogyne* en la República Mexicana. En Avances en la investigación. Instituto de Fitosanidad. Colegio de posgraduados. Montecillo, Estado de México. 114-115 pp
- Ferris, H. 1999. *Nacobbus aberrans*. University of California. UC Davis, California.
- Lizcano, Toledo. R., D. Olivera Viciado, D. Saavedra Mora, L. Machado Cuellar, E. Rolando Valencia, M. Moreno Pérez, M. Fidel Flórez. 2017. Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, 88 pp.
- Guzman-Plazola, R. A., J. Jaraba N., E. Caswell-Chen, E. Zavaleta-Mejía, y I. Cid del Prado V. 2006. Distribución espacial de especies y razas de *Meloidogyne* en la zona productora de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Morelos, México. Nematropica 36:215-229.
- Martínez-Gallardo, J.A.; Díaz, V. T.; Allende, M. R.; Retes-Manajerrez, J. y Carrillo, F. J. A. 2019. Identificación y distribución de *Meloidogyne* spp. en tomate de Sinaloa México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 10:453-459
- Martínez-Gallardo, J.A.; Díaz, V. T.; Allende, M. R.; García, E. R.S. y Carrillo, F. J.A. 2015. Primer reporte de *Meloidogyne enterolobii* parasitando tomate en Culiacán, Sinaloa México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Pub. Esp. 11:2165-2168

- Mora-Aguilera, G., G. Acevedo-Sánchez, J. Flores- Sánchez, R. González-Gomez, and P. Robles-García. 2013. Applied epidemiology to plant disease risk analyses. Pp. 27-29 *in* Proceedings IV Brazilian Workshop of Plant Disease Epidemiology. Curitiba. Brasil. Dec. 2-4.
- SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2018). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp
- Sasser, N.J. 1977. Worldwide dissemination and importance of the root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). *Journal of Nematology* 9:26-29
- SEMARNAT (2002). Norma Oficial Mexicana NOM021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación 31 de diciembre de 2002

CAPÍTULO IV

Biocontrol y Tolerancia de *Meloidogyne incognita* en Tomate

Biocontrol and Tolerance of *Meloidogyne incognita* in Tomato Plants

Resumen. Los nematodos de la especie *Meloidogyne incognita* formadores de agallas de las raíces, son un serio problema fitosanitario en el cultivo de tomates (*Solanum lycopersicum* L.), por lo que es fundamental determinar la tolerancia de cultivares a nematodos y sus métodos de control con organismos biológicos. En este trabajo se determinó la tolerancia de la variedad “El Cid F1® a cuatro niveles de inóculo de huevos de *M. incognita*/planta, y la efectividad para controlar al nematodo mediante el uso del hongo *Paecilomyces lilacinus*, la bacteria *Bacillus subtilis*, y el insecticida carbofurán. Se encontraron pérdidas de 1.85 kg m⁻² (12%) con 1,000 y 6.1 kg·m⁻² (41%) con 5,000 J2/planta. A los 110 ddt se mantuvieron poblaciones de J2 inferiores a 5000/nematodos con los tratamientos (T2 = 1,005 (89.3%), T3 = 3,255 (76%), y T4 = 853 (90.5%)). El rendimiento del cultivo de tomate se incrementó en 29% con la aplicación de *P. lilacinus*, en 28% con *B. subtilis*, y 30% con carbofurán respecto al testigo.

Abstract. *Meloidogyne incognita* nematodes produce galls in roots, a serious phytosanitary problem in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production. That is why, it is necessary to determine how tolerant the green tomato cultivars are to the nematodes, and to its control methods with biological organisms. In this research, it was determined the tolerance of the

“El Cid F1® cultivar to four levels of inoculum of *M. incognita* eggs/plant, and the effectiveness to control the nematode with the fungus *Paecilomyces lilacinus*, the bacterium *Bacillus subtilis*, and the insecticide carbofuran. Tomato losses of 1.85 kg m⁻² (12%) with 1,000 J2/plant, and 6.1 kg.m⁻² (41%) with 5,000 J2/plant were found. At 110 ddt lower J2 populations at 5000/nematodes were maintained with the treatments (T2 = 1,005 (89.3%), T3 = 3,255 (76%), and T4 = 853 (90.5%)). Tomato production increased 29% using *P. lilacinus*, 28% with *B. subtilis*, and 30% with carbofuran.

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la segunda hortaliza de mayor importancia económica en México, donde se producen 3.37 millones de toneladas en 47.2 mil hectáreas. El estado de Oaxaca en los últimos 15 años ha tenido un crecimiento ascendente, pasando de 147 ha en 2008 a 472 ha de tomate en el año 2018 (SAGARPA 2019). El monocultivo de *S. lycopersicum* bajo invernadero ha ocasionado la proliferación de plagas y enfermedades. La abundancia de nematodos fitoparásitos que penetran las raíces formando nódulos o agallas que obstaculizan la nutrición y el crecimiento de las plantas causando pérdidas de hasta el 100 % en rendimientos Quiroga-Madrigal et al. (2007).

Meloidogyne spp. es un nematodo endoparásito sedentario que se encuentra dentro del sistema radical (Bridge y Starr 2007). Se pueden encontrar desde zonas agrícolas tropicales y sub-tropicales hasta climas templados (Sikora y Fernández 2005, Kiewnick y Sikora 2006). Se reportan pérdidas económicas anuales de \$100 millones de dólares en cultivos hortícolas debido a los daños que ocasiona el nematodo *M. incognita* (Radwan et al. 2012). Para la prevención y control de los nematodos en el cultivo de tomate, se han utilizado diversos métodos, como el uso de nematicidas sintéticos, enmiendas orgánicas, genotipos resistentes,

y control biológico, los cuales han mostrado diferentes niveles de control (Mohamed et al. 2012).

Los umbrales de los nematodos del nódulo *M. incognita* no se han establecido (Aquino-Bolaños et al. 2019). En este trabajo se establece el umbral de tolerancia y la efectividad de dos agentes de control biológico, para el manejo de nematodos J2 de *M. incognita* en tomate de invernadero.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó bajo invernadero tipo capilla de 250 m² en 2018. El sistema de cultivo fue en macetas de plástico de 10 litros de capacidad con plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) variedad “Cid F1 de Harris Moran[®]”. El trasplante se llevó a cabo cuando la planta tenía un promedio de 10 cm de altura. Las plantas se guiaron a un solo tallo y se utilizó el tutoreo y podas de brotes axilares y eliminación de hojas por debajo del primer racimo. La fertilización se realizó con solución Steiner por un sistema de riego por goteo, empleándose emisores de 4 litros h⁻¹ y de esta manera el PH se mantuvo en un rango de 5.5 a 6.0. Se obtuvieron huevos y juveniles J2 de *M. incognita* de raíces de tomate de más de ocho semanas de edad infectadas por el nematodo, los cuales se extrajeron con solución de hipoclorito de sodio (Hussey y Barker 1973), mediante el método de macerado y filtrado (Hooper et al. 1990). Se utilizaron 25 g de raíz que se colocaron en un vaso de precipitado con 100 ml de agua, se licuaron durante 30 s y se filtraron en tamices de números 35, 100, 200, y 400 µm. Se verificó la eclosión y viabilidad de *M. incognita* cuya identidad taxonómica se basó en caracteres morfológicos y la revisión respectiva del patrón perineal de las hembras maduras (Taylor y Sasser 1978).

La inoculación de huevos se realizó con una micropipeta de 100-1000 μl de capacidad a los 10 días después del trasplante (ddt). Cada planta fue inoculada con 20 ml de suspensión conteniendo T1 = 1,000, T2 = 2,000, T3 = 3,000, T4 = 5,000; y T5 = 0 (control) huevos de *M. incognita* en cuatro orificios situados alrededor de la base del tallo a 4 cm de profundidad. Para evitar la deshidratación de los huevos, la aplicación se realizó después de las 18:00 h a una temperatura de $26.2 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ en las bolsas de plástico.

Las variables a evaluar para umbrales de tolerancia y métodos de control fueron: 1) Índice de agallamiento de raíz en la escala del 0-10 propuesta por Bridge y Page (1980). 2) Número total de J2 en 300 g de suelo. 3) Rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$). Las evaluaciones se hicieron a los 50 y 110 ddt considerando siete racimos de producción por planta.

El nivel de inóculo de huevos del nematodo por planta se determinó a partir de los resultados del ensayo de umbral de tolerancia. Se inocularon plantas de tomate con 5,000 huevos de *M. incognita* (testigo) por ser la concentración que causó mayor daño; el hongo *Paecilomyces lilacinus* a 6.5×10^{13} UFC/g; la bacteria *Bacillus subtilis* 5×10^9 UFC/g; Furadán 5G FARMAGO S.A. Insecticida-nematicida, i.a. carbofurán, volumen aplicado 5 g/planta, y 1.5 Kg/ha. Se realizaron tres aplicaciones a los 25, 50, 75 ddt. Para ambos organismos biológicos, se prepararon suspensiones en agua destilada estéril. Las aplicaciones se realizaron con una micro pipeta graduada esterilizada en cuatro orificios en diferente posición alrededor de la base de los tallos de las plantas considerando la profundidad donde se encontraban las raíces. La primera aplicación a los 5 cm, la segunda a 10 y la tercera a 15 cm. En total, se aplicaron 45 ml de la suspensión en cada planta.

Análisis Estadístico.

Los dos experimentos se establecieron bajo un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento y la unidad experimental fue de cinco plantas. Los datos se analizaron con análisis de varianza y comparación múltiple de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) y análisis de correlación de Pearson entre variables para determinar el mejor tratamiento. Todos los análisis se realizaron con el programa SAS (SAS® Institute 2004).

Resultados y Discusión

Tolerancia de Tomate.

No se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para el índice de agallamiento de la raíz en el tomate, a los 50 y 110 ddt entre los tratamientos con T3 y T4 (Tabla 19). Mekete et al. (2003) encontraron resultados similares al evaluar diferentes densidades poblacionales de *Meloidogyne javanica* en tomate; observaron que la severidad de agallamiento incrementó con respecto al nivel de inóculo.

A 50 ddt los mismos tratamientos presentaron las mayores cantidades de J2 en 300 g de suelo T3 = 11.6 y T4 = 11%. A los 110 ddt, todos los tratamientos incrementaron las cantidades de nematodos en el suelo, resaltando los tratamientos T2 = 69.4, T3 = 97.5, y T4 = 33.9%. Esto coincide con Charegani et al. (2012) quienes establecieron que cuando las densidades iniciales de J2 incrementan los huevos y agallas/g de raíz también aumentan proporcionalmente. Salazar-Antón y Guzmán-Hernández (2013) determinó un incremento de 1.94 J2 al final del ciclo de cultivo al evaluar el efecto de diferentes cantidades de *Meloidogyne* sp. en *S. lycopersicum*. El-Sherif et al. (2007) reporta que cuando existen bajas densidades iniciales de nematodos del genero *Meloidogyne* sp. en el cultivo, los incrementos poblacionales son altos. Esto se debe a que se exponen a poca competencia intraespecífica en la rizosfera de la planta a diferencia de altas cantidades iniciales y se asocia con la

susceptibilidad del hospedero, disponibilidad de espacio, el acceso a alimentos, y a las condiciones ambientales favorables para su reproducción (McSorley et al. 1992, Cadet et al. 2005).

Se encontró una disminución en el rendimiento con T4 = 41.1, T3 = 39.6, y con T2 = 20.20% con respecto al control. El modelo de Seinhorst (1965) explica que las plantas tienen dos efectos en presencia de bajas poblaciones de nematodos: uno de estimulación y otro de inhibición reducción, por lo que las plantas son capaces de reparar el daño causado y además estimular su crecimiento. Además, Sikora y Fernández (2005) encontraron que el efecto de la reducción de rendimiento de tomate se debió al poco desarrollo de las raíces y a la poca absorción de agua y nutrientes. La cantidad de nematodos está directamente influenciada por su densidad inicial en el suelo.

Tabla 19. Efecto de Concentraciones de J2/planta sobre el Índice de Agallamiento de Raíces, Población de Nematodos J2/300 g de Suelo y Rendimiento de *S. lycopersicum* a Siete Racimos/Planta

Table 19. Effect of Two J2 Nematode Concentrations per Plant on the Root-Knot Index, the Population of Nematode J2/300 g of Soil and Yield of *S. lycopersicum* to Seven Bunches/Plant

Tratamientos Huevos/planta ⁻¹	50 dpt ⁺⁺		110 dpt ⁺⁺		Rendimiento (kg m ⁻²)
	Índice de agallamiento	Nematodos J2	Índice de agallamiento	Nematodos J2	
1000	1.12 b ⁺	1442.5 b	2.62 b	1636.3 c	13.00 b
2000	2.0 ab	2188.1 b	3.62 b	3388.8 b	11.85 b
3000	2.25 a	3485.6 a	6.25 a	5917.5 a	8.97 c

5000	2.37 a	3536.3 a	6.87 a	6692.5 a	8.75 c
(0 Testigo)	0.0 c	0.0 c	0.00 c	0.0 d	14.85 a

⁺Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); ⁺⁺Días posteriores al trasplante.

Control de *Meloidogyne incognita*.

Para el índice de agallamiento, a los 50 y 110 ddt entre los tratamientos T1 = testigo, T2, T3, y T4 hubo diferencia significativa (Tabla 20). A los 110 ddt todos los tratamientos presentaron reducción de agallas T2 = 49.23, T3 = 64.6, y T4 = 83%. Esta reducción es similar a lo reportado por Hashem y Abo-Elyousr (2011) por su acción parasítica sobre huevos de *Meloidogyne incognita*. *Paecilomyces lilacinus* es uno de los hongos evaluados con mayor efectividad para el control de nematodos formadores de agallas en el cultivo de tomate (Oka 2010). Wen-Kun et al. (2016) reportaron que con la combinación de *Syncephalastrum racemosum* y *P. lilacinus* redujo 70% la eclosión de huevos y por consiguiente disminuyó el número de agallas en las raíces de pepino (*Cucumis sativus*), y la densidad de nematodos J2 en suelo.

En la presencia de J2 en el suelo, a los 50 ddt el tratamiento T4 con el nematicida fue estadísticamente diferente a los tratamientos (T1 y T3) y se encontró una reducción de J2 en el suelo con T4 = 90.55 y T2 = 89.32 y finalmente con T3 = 76%. A los 110 ddt tres tratamientos (carbofuran, *P. lilacinus*, y *B. subtilis*) mantuvieron poblaciones de J2 inferiores a 5000/nematodos (T4 = 82.94, T2 = 79.9, y T3 = 34.9) estos tratamientos son estadísticamente diferentes al T1 = testigo, es de resaltar que el testigo presentó un incremento de nematodos J2 en el suelo de un 20.28%. Con la aplicación de *B. subtilis* hubo una reducción de 64.6% en el índice de agallamiento de raíz, y 34.5% en la población de J2 en

suelo, lo que coincide parcialmente con los resultados encontrados por Burkett-Cadena et al. (2008). *Bacillus subtilis* es un gran promotor de crecimiento son bacterias beneficiosas que colonizan la rizosfera y las raíces de las plantas, lo que da lugar a una mejora del crecimiento de las plantas o a una protección contra determinados patógenos de las plantas, debido a la producción de fito reguladores en la rizosfera como los reportaron Araújo y Marchesi (2009) y sus aplicaciones en campo han confirmado los resultados como agente biológico promisorio contra nemátodos en cultivos de tomate, chile, y pepino (Dongmei et al. 2019), aunque en algunos casos no se han encontrado estos resultados por otros factores como un mayor diámetro de tallo y número de racimos (Oliveira et al. 2017). Los hongos como *Paecilomyces* spp. han mostrado potencial para el control de nematodos debido a la producción de enzimas extracelulares en las que se incluyen las quitinasas (Halmman et al. 1999).

Tabla 20. Efecto de Tratamientos de Control Sobre el Índice de Agallamiento de Raíces, Población de Nematodos J2/300 g Suelo y Rendimiento de *S. lycopersicum* a Siete Racimos/Planta

Table 20. Effect of Control Treatments on the Root-Knot Index, the Population of Nematodes J2/300 g Soil, and Yield of *S. lycopersicum* to Seven Bunches/Plant

Tratamientos	50 dpt ⁺⁺		110 dpt ⁺⁺		Rendimiento kg m ⁻²
	Índice de agallamiento	Nematodos J2	Índice de agallamiento	Nematodos J2	
T1 (Testigo nematodos)	1.8 a ⁺	1783.9 a	6.5 a	6014.7 a	10.17 b
T2 (<i>P. lilacinus</i>)	0.6 bc	534.2 c	3.2 c	1005.2 c	13.15 a

T3 (<i>B. subtilis</i>)	0.6 bc	1200.5 b ab	4.2 b	3255.3 b	13.02 a
T4 (Carbofuran)	0.1 c	472.5 c	1.1 d	853.2 d	13.25 a

⁺Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

⁺⁺Días posteriores al trasplante.

Los tratamientos (*P. lilanicus*, *B. subtilis*, y carbofuran) mostraron rendimientos superiores de tomate con respecto al control. Con el uso de *P. lilacinus* el rendimiento incrementó 29%, 28% con *B. subtilis*, y con carbofuradan 30%. Vipul y Pramanik (2014) aplicaron hongos entomopatógenos y con esto hubo un incremento en el rendimiento de 12.8 a 32.7%. Los hongos han mostrado gran potencial en el control de nematodos, incluso debido a la generación de enzimas extracelulares en las que se incluyen las quitinasas. Halmman et al. (1999) encontraron que la adición de quitina en el suelo al 1% (p/p) causó la supresión *M. incognita* en plantas de algodónero y la relacionaron con el aumento de las poblaciones de hongos reduciéndose la presencia de nemátodos en 3.76%.

Aquino-Bolaños et al. (2019) aplicando el extracto vegetal *A. farnesiana* registró el mayor rendimiento con 18.46 kg m⁻² de tomate en condiciones controladas en Oaxaca, México. Según Sikora y Fernández (2005) cuando se utiliza cualquier método para controlar las poblaciones de nematodos, el rendimiento puede verse afectado hasta en un 41.07% con una presencia de 5,000 nematodos al inicio del cultivo, y este efecto de reducción se debe a la inhibición del desarrollo de los nematodos.

Referencias Citadas

- Aquino-Bolaños T., P. T. Matadamas-Ortíz, C. F. Lopez-Vasquez y S. Ines-Vasquez (2019) Management of the nematode of the nodule of *Meloidogyne incognita* in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) with extracts in a biospace condition. *African Journal of Agricultural Research* 14: 180-184. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13602>.
- Araujo F. F. and M. G. V. Poletto (2009) Use of *Bacillus subtilis* in the control of root-knot nematode and the growth promotion in tomato. *Ciência Rural* 39:1558-1561. <http://dx.doi:10.1590/S0103-84782009000500039>.
- Bridge J. and Page SLJ (1980). Estimation of root-knot nematode infestation levels on roots using a rating chart. *Tropical Pest Management* 26, 296-298
- Bridge J. and Starr J.L (2007) Plant Nematodes of Agricultural importance. London UK. Mnson Publishing Ltd. de Leij FAAM, Kerry BR, 1991. The nematophilous fungi *Verticillium chlamydosporium* as a potential biological control agent for *Meloidogyne arenaria*. *Revue de Nematologie*.
- Burkett-Cadena M., N. Kokalis-Burelle, K. S. Lawrence, E. Van Santen and J. W. Kloepper (2008) Suppressiveness of root-knot nematodes mediated by rhizobacteria. *Biological Control* 4: 55–59. <http://dx.doi:10.1016/j.biocontrol.2008.07.008>.
- Charegani H., S. Majzoob, H. Hamzehzarghani and A. Karegar-Bide A (2012) Effect of various initial population densities of two species of *Meloidogyne* on growth of tomato and cucumber in greenhouse. *Nematologia Mediterranea* 40:129-134.
- Dongmei Z., H. Feng, T. Schuelke, A. Santiago, Q. Zhang, J. Zhang, C. Luo and L. Wei (2019) Rhizosphere Microbiomes from Root Knot Nematode Non-infested Plants Suppress Nematode Infection. *Microbial Ecology* <https://doi.org/10.1007/s00248-019-01319-5>.

- El-Sherif A.G., A. R. Refaei, M.E. El-Nagar, M. Hagar and M. Salem (2007) The role of eggs inoculum level of *Meloidogyne incognita* on their reproduction and host reaction. *African Journal of Agricultural Research* 2:159-163.
- Hallman J., R. Rodríguez-Kabana and J. Kloepper (1999) Chitin-mediated changes in bacterial communities of the soil, rhizosphere and within roots of cotton in relation to nematode control. *Soil Biology and Biochemistry* 31:551-560.
- Hashem M. and K. Abo-Elyousr (2011) Management of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomato with combinations of different biocontrol organisms. *Crop protection* 30:285-292. [http://dx. doi:10.1016/j.cropro.2010.12.009](http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2010.12.009).
- Hooper D. J. (1990) Methods for extraction, processing and detection of plant and soil nematodes. In: Luc, M., Sikora, R., Bridge, J. (Eds.), *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture.*, 2nd edition. CABI Publishing, Wallingford, 2005, p.53-86.
- Hussey R.S. and K.R. Barker (1973) A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. *Plant Disease Reporter* 57:1025-1028.
- Kiewnick S. and R.A. Sikora (2006) Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* by *Paecilomyces lilacinus* strain 251. *Biological Control* 38:79-187, [http://dx.doi: 10.1016/j.biocontrol.2005.12.006](http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.12.006)
- McSorley R., D.W. Dickson, E.M. Candanedo-Lay, T.E. Hewlett and J. Frederick (1992) Damage functions for *Meloidogyne arenaria* on peanut. *Journal of Nematology* 24:193-198.
- Mekete T., W. Mandefro and N. 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, Gohrad MA and Mohamed EE. (2012). Impact of microbial agent on *Meloidogyne incognita* and morphogenesis of tomato. *Journal of biopesticides* 1:28-35
- Oka Y. (2010) Mechanisms of Nematode Suppression by Organic Soil Amendments-A Review. *Applied Soil Ecology* 44: 101-115, <http://dx.doi:10.1016/j.apsoil.2009.11.003>
- Oliveira S. J., M. Vinícius S, L.F. Levorato, B. Silva F. and M. Rúbia R. (2017) Biocontrol agents in the management of *Meloidogyne incognita* in tomato Agentes de biocontrol no manejo de *Meloidogyne incognita* em tomateiro. *Ciência Rural* 47:10 <https://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20161053>.
- Quiroga-Madrigal R, M. Rosales-Esquinca, P. Rincón-Espinosa y E. Hernández-Gómez (2007) Enfermedades causadas por hongos y nematodos en el cultivo de tomate *Lycopersicon* Mill.) en el Municipio de Villaflores, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 25:114-119.
- Radwan M.A., S. A. A. Farrag, M. M. Abu-Elamayem and N. S. Ahmed (2012). Biological control of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on tomato using bioproducts of microbial origin. *Applied Soil Ecology* 56:58-62. <http://dx.doi:10.1016/j.apsoil.2012.02.008>.
- SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2019). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp
- Salazar-Antón W. y T. J. Guzmán-Hernández (2013) Efecto de poblaciones de *Meloidogyne* sp. en el desarrollo y rendimiento del tomate. *Agronomía Mesoamericana* 24:419-426.
- 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* 1: 137-154.

- Sikora R. A. and E. Fernández E. (2005) Nematodes parasites of vegetables. In: Luc, M., Sikora, R.A., Bridge, J. (Eds.), Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture. CAB International, Wallingford (GBR) 5:319-392.
- Taylor L. A. y N. J. Sasser (1978) Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species). Raleigh, North Caroline State Un. Graphics, 1978. 111p
- Vipul, H. W. and A. Pramanik (2014) Evaluation of *Paecilomyces lilacinus* for management of root knot nematode *Meloidogyne incognita*, in tomato. *The Bioscan-An International - quarterly Journal of Life Sciences* 9:407-411.
- Wen-Kun H., J. K. Cui, S. M. Liu, L. A. Kong, Q. S. Wu, H. Peng and D. L. Peng (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. <http://dx.doi:10.1016/j.biocontrol.2015.09.008>.

CAPÍTULO V

Portainjertos nativos de *Solanum lycopersicum* L. y su efecto en el rendimiento y tolerancia a *Meloidogyne incognita*

Native rootstocks of *Solanum lycopersicum* L. And its effect on yield and tolerance to *Meloidogyne incognita*

Resumen

Los nematodos formadores de agallas del género *Meloidogyne* son un problema fitosanitario de difícil manejo en el cultivo de tomate. Se han utilizado diferentes métodos para su control, como el uso de nematicidas sintéticos, enmiendas orgánicas y control biológico, los cuales han mostrado diferentes niveles de control. Se sabe poco del uso de portainjertos nativos, pudiendo ser una buena alternativa en la producción de tomate. El objetivo de la investigación fue evaluar tres portainjertos nativos (genotipos Manzana, Ciruelo y Arriñonado) de *S. Lycopersicum* sobre un híbrido comercial (Cid F1[®]) de tomate tipo saladette de crecimiento indeterminado, para determinar las mejores combinaciones portainjerto-híbrido, su respuesta ante la presencia del nematodo *M. incognita* y su productividad en invernadero. Las variables evaluadas fueron: población de nematodos en suelo, índice de agallamiento de raíces, rendimiento del cultivo, y parámetros del fruto: peso, diámetros polar y ecuatorial, pH, conductividad eléctrica, sólidos solubles totales y firmeza. El portainjerto Cid F1-portainjerto Manzana redujo significativamente el índice de agallas en las raíces respecto al testigo, mostrando resistencia moderada y bajas poblaciones de juveniles de segundo estadio de *M. incognita* (J2) en suelo. Los tres portainjertos incrementaron su rendimiento en 125,90; 97,06

y 77,5% para los portainjertos Manzana, Ciruelo y Arriñonado, respectivamente, en relación al testigo. Los mayores diámetros de frutos se registraron cuando el Híbrido Cid F1® injertó sobre el portainjerto Manzana. El uso de portainjertos nativos-hibrido son una alternativa viable, pues incrementó el rendimiento y calidad de los frutos en sistemas de agricultura protegida en el cultivo de tomate.

Palabras clave: Calidad de frutos / *Meloidogyne incognita* / portainjertos/ tomates nativos /

Native rootstocks of *Solanum lycopersicum* L. And its effect on yield and tolerance to *Meloidogyne incognita*

Summary

Gall-forming nematodes of the genus *Meloidogyne* are a phytosanitary problem difficult to control in tomato crops. Different methods have been used for their management: synthetic nematicides, organic amendments and biological control. These methods have had different levels of success. Little is known of the use of native rootstock, which could be a good alternative for tomato production. The objective of this study was to evaluate three native *S. lycopersicum* rootstocks (genotypes: Manzana, Ciruelo and Arriñonado) with a commercial saladette type hybrid (Cid F1®) of indeterminate growth to determine the best combinations of rootstock and hybrid, their response in the presence of the nematode *M. incognita*, and their productivity under greenhouse conditions. The variables evaluated were soil nematode population, root gall index, crop yield, and fruit parameters: weight, polar and equatorial diameters, pH, electric conductivity, total soluble solids, and firmness. The combination Cid F1-Manzana genotype significantly reduced the root gall index, relative to the control, showing moderate resistance and low juvenile second-stage *M. incognita* (J2) nematode

populations in the soil. The three rootstocks, Manzana, Ciruelo and Arriñonado, increased yield by 125.90, 97.06 and 77.5%, respectively, relative to the control. The largest diameters of the fruits were recorded when the Hybrid Cid F1[®] was grafted onto Manzana. The use of native rootstock with the hybrid is a viable alternative that can increase yield and fruit quality of tomatoes in systems of protected agriculture.

Introducción

El tomate *S. lycopersicum* L. es uno de los cultivos vegetales más consumidos en el mundo. Es un alimento nutricionalmente equilibrado; por lo tanto, juega un papel importante para garantizar la seguridad alimentaria y la nutrición (Brasceso *et al.*, 2019).

En México, la superficie de producción de tomate en agricultura protegida creció a una tasa promedio anual de 22,7% durante el período 2007- 2017, pasando de 1,973 a 15,198ha sembradas. Por ende, la producción obtenida aumentó a una tasa de 23,4% (SIAP, 2019). Sin embargo, la práctica del monocultivo y la contaminación por el uso de agroquímicos han afectado negativamente en la diversidad de microorganismos de los agroecosistemas, ocasionando un desequilibrio e inestabilidad de los mismos, lo cual se refleja, entre otros efectos nocivos, en mayor incidencia y severidad de plagas de los suelos en los cultivos de tomate (Báez-Valdez *et al.*, 2010).

Los nematodos del género *Meloidogyne*, formadores de agallas en las raíces, se han catalogado por causar afectaciones económicas (Salazar- Antón y Guzmán-Hernández, 2013). En México es el género más patogénico que ataca las raíces de la planta del cultivo

de tomate, causando altos porcentajes de pérdida en los rendimientos de 50 a 100% (Leyva-Mir *et al.*, 2013).

La principal técnica de control de los nematodos es mediante fumigantes y nematicidas de síntesis química con efectos negativos en el ambiente y la salud humana, por lo que hay necesidad de fomentar métodos alternativos para el manejo de esta plaga (Khalil *et al.*, 2012), tales como el uso de portainjertos para proporcionar resistencia a determinados patógenos como son los nematodos o combinar cualidades deseables como las condiciones fisiológicas, ambos en una sola planta (Verdejo y Talavera, 2015; Tatu y Amissah, 2019), debido a que las plantas poseen genes para responder a la agresión ocasionada por patógenos, además de una red de señales hormonales que controlan la respuesta de la planta frente al ataque de patógenos (Rangel *et al.*, 2010).

Cervantes-Moreno *et al.* (2014) evaluaron 26 colectas nativas de México y solo tres presentaron tolerancia al índice de agallas y menor presencia de huevos en las raíces. El injerto de cultivares susceptibles sobre portainjertos resistentes ha sido utilizado exitosamente para el control de patógenos del suelo en invernaderos en muchos países (Cortada *et al.*, 2009). Algunos estudios han reportado el comportamiento de cultivares injertados de tomate contra nematodos agalladores de raíz, con reducciones de 81% del daño en las raíces con el uso de porta injertos híbridos de *S. lycopersicum* Multifort y Survivor (Owusu *et al.*, 2016).

La diversidad de especies nativas de *S. lycopersicum* ha permitido encontrar genes de resistencia a factores causantes de estrés biótico y abiótico, y otros atributos de interés agronómico (Bergougnoux, 2014). Se ha demostrado que portainjertos nativos de *Solanum* y otras plantas que comparten la misma familia como *S. torvum*, *S. aethiopicum*, *S. macrocarpon*, *S.*

sisymbriifolium, *S. hirtum*, *Physalis peruviana* y *Nicotiana glauca* han tenido tolerancia a los nematodos (Dhivya *et al.*, 2014; Navarrete *et al.*, 2018). Por lo anterior, surge el interés por el uso de tecnologías de agricultura protegida para el manejo de nematodos con el uso de genotipos nativos que no se han estudiados para este propósito, con la finalidad de conocer su potencial. El objetivo de la presente investigación fue evaluar tres portainjertos nativos de *S. lycopersicum* y un híbrido comercial de tomate tipo saladette de crecimiento indeterminado (Cid F1®), para determinar las mejores combinaciones portainjerto-híbrido, su respuesta ante la presencia del nematodo *M. incognita* y su productividad bajo condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

Condiciones experimentales

El experimento se realizó en un invernadero ubicado en Oaxaca, México (17°01'30,3" N y 96°43'11,0"O; a 1530 msnm), temperatura media de 28,69°C y humedad relativa de 49,18%.

Material vegetal

Se colectaron semillas de tres portainjertos nativos de tomate (*S. lycopersicum* L.), conocidos como Manzana, Ciruela y Arriñonado, que se cultivan y reproducen de forma alógama, en los sitios Tataltepec de Valdés (97°33'46"O, 16°18'23"N, a 680msnm) y Santiago Ixtayutla (97°39'00"O, 16°34'00"N, a 680 y 370msnm) en el estado de Oaxaca, México. Los portainjertos nativos se seleccionaron por sus características de adaptación y resistencia a plagas y condiciones ambientales de la zona y se utilizó el híbrido comercial El Cid-F1(Harris Moran™) de crecimiento indeterminado de fruto tipo saladette, con resistencia a *Fusarium oxysporum* (Fol), *Verticillium* (Ve), Virus mosaico del tomate (ToMV) y nematodos (Ne).

La siembra se realizó en charolas de poliestireno de 200 cavidades de 25ml, utilizando como sustrato Peat Moss y Perlita en proporción 3:1 v/v. Se aplicó riego por aspersión en forma manual dos veces por día, manteniendo húmedo el sustrato. El injerto se realizó a los 25 días después de la germinación de la semilla mediante el método de empalme (se corta un cotiledón del pie en un ángulo de 45°, se corta la variedad en un ángulo de 45° bajo los cotiledones, se unen ambas con un clip y se llevan a la cámara de prendimiento). Transcurridos 20 días se realizó el trasplante a suelo en camas de 0,60m de ancho y 1,25m de separación entre cada una a doble hilera de plantas; la distancia entre cada planta e hilera fue 0,4m y la densidad de plantación fue de 2 plantas/m².



Figura 1: Tomates nativos utilizados para el estudio : A)genotipo manzana B)genotipo ciruela C)genotipo arriñonado D)Forma de cultivo tradicional de los genotipos colectados.

La siembra se realizó en charolas de poliestireno de 200 cavidades de 25ml, utilizando como sustrato Peat Moss y Perlita en proporción 3:1 v/v, se aplicó riego por aspersión en forma manual dos a tres veces por día manteniendo húmedo el sustrato. El injerto se realizó a los 25 días después de la germinación de la semilla mediante el sistema de empalme, 20 días después se realizó el trasplante a suelo en camas de 0.60m de ancho y 1.25m de

separación entre cada una, a doble hilera de plantas, la distancia entre cada planta e hilera fue 0.4m, la densidad de plantación fue de 2 plantas/m².

Preparación y aplicación del inóculo

El inóculo de nematodos juveniles de segundo estado (J2) se obtuvo de raíces de plantas de tomate cultivado en invernadero con síntomas de presencia de nematodos. Las raíces se homogenizaron y la extracción de J2 se hizo por la técnica de centrifugación y flotación con azúcar propuesta por Zuckerman *et al.* (1987). La identificación de la especie *M. incognita* se realizó por sus caracteres morfológicos y la revisión respectiva del patrón perineal de las hembras maduras (Taylor y Sasser, 1978). La inculación de J2 se hizo por medio de una micropipeta de 1000 µl de capacidad, en agujeros de 4cm de profundidad alrededor de la rizósfera vegetal, donde se aplicaron 3,000 nematodos J2/planta.

Tratamientos y diseño experimental

Como testigo se evaluó el híbrido comercial (Cid-F1[®]) y tres portainjertos de tomate nativos sin injertar (GM: genotipo Manzana. GC: genotipo Ciruela, y GA: genotipo Arriñonado), y Cid-F1[®] injertado sobre los genotipos: Manzana (Cid-F1[®]-GM), Ciruela (Cid-F1[®]-GC) y Arriñonado (Cid-F1[®]-GA). Se trabajó con un diseño experimental completamente al azar con siete tratamientos; cada unidad experimental es una planta de tomate y cada repetición estuvo constituida por 14 plantas.

Manejo del cultivo

Se utilizó solución nutritiva universal de (Steiner, 1984), mediante un sistema de riego por goteo de acuerdo a la humedad del suelo, la que fue registrada por tensiómetros Irrrometer

ISR-300 (Irrrometer Company, Riverside, CA, EEUU). Además, se registró la temperatura y humedad relativa con sensores HOBOS PRO V2 (ONSET, Bourne, MA, EEUU). Las plantas de tomate fueron guiadas a un solo tallo sujetándolas con hilo de rafia hacia la parte superior. La polinización se realizó diariamente a partir de la floración hasta el amarre de frutos y la cosecha de frutos se realizó hasta el octavo racimo.

Variables evaluadas

Poblaciones de nematodos e índice de agallamiento en raíces

A los 120 días después del trasplante (ddt) se tomaron 300g de suelo de la zona de rizosfera. En el laboratorio los nematodos activos en estado juvenil J2 de *M. incognita* fueron extraídos por el método de gravedad de Cobb (1918) y el conteo se realizó por la técnica de Kaya y Stock (1997). El índice de agallamiento de la raíz se trabajó con la propuesta por Bridge y Page (1980).

Parámetros de peso, rendimiento, diámetros y calidad de frutos

La cosecha de los frutos se realizó de acuerdo la Norma oficial Mexicana NMX-FF-031-1997 (NOM, 1997). Para cada repetición se tomaron cuatro frutos, cuyos pesos se obtuvieron con una balanza digital Ohaus Adventurer®. Se les registró la firmeza utilizando un texturómetro marca Sommer & Ruge KG Berlín-Frideman, tomando tres lecturas de forma opuesta en la región ecuatorial y la distancia de penetración en pulpa se registró en mm. Además, se obtuvo una mezcla del jugo para medir el pH y la conductividad eléctrica (CE) con un potenciómetro marca Hanna Instruments® modelo HI 98129; mientras que los sólidos solubles totales fueron registrados con un refractómetro marca Hand Refractometer ATAGO N1®, donde se colocaron dos gotas de jugo del fruto en el prisma del equipo y se tomó la lectura por triplicado.

Análisis estadístico

El tipo de prueba estadística aplicada para la comparación de tratamientos en cada variable dependió del cumplimiento de los supuestos de homogeneidad de varianzas, que fue evaluada por las pruebas de Levene (Mongomery, 1991), así como el ajuste de datos a una distribución normal que fue evaluada mediante la prueba de Shapiro Wilks modificada por Mahibbur y Govindarajulu (1997). Ambas pruebas se indican en la Tabla 21 y fueron realizadas mediante el programa Infostat V. 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

El tipo de análisis elegido dependió de las pruebas de Levene para evaluar la homogeneidad de varianzas (homocedasticidad) y Shapiro Wilks modificado para evaluar la normalidad de los datos, valores mayores de $P > 0.05$ aceptan la H_0 : los datos tienen homogeneidad en sus varianzas o provienen de una distribución normal.

Una vez encontradas diferencias significativas en al menos un tratamiento, se realizaron pruebas “post-hoc” de comparación múltiple de medias con el método LSD Fisher (Williams y Abdi, 2010) para los casos en los que se aplicó el ANOVA. Así mismo se utilizaron comparaciones pareadas para las comparaciones resultantes de la prueba Kruskal Wallis.

Tabla 21. Tipos de pruebas estadísticas aplicadas para la comparación de tratamientos de cada variable de estudio.

Variable	Valor de P de la prueba de Levene (homocedasticidad)	Valor de P de la prueba de Shapiro Wilks (normalidad)	Tipo análisis a emplear en las comparaciones.
Población de nematodos en suelo	$P > 0.999$	$P < 0.0001$	Kruskal Wallis

índice de agallamiento de raíces.	P>0.999	P=0.01	Kruskal Wallis
Peso de frutos cosechados	P>0.999	P<0.0001	Kruskal Wallis
Diámetro ecuatorial	P>0.999	P<0.0001	Kruskal Wallis
Diámetro polar	P>0.9999	P<0.0001	Kruskal Wallis
pH	P>0.9999	P=0.1761	ANOVA
Conductividad eléctrica (CE)	P>0.9999	P=0.9370	ANOVA
Sólidos solubles totales (Grados Brix)	P>0.9999	P=0.0026	Kruskal Wallis
Firmeza de frutos	P>0.9999	P=0.002	Kruskal Wallis

Resultados y discusión

Poblaciones de nematodos e índice de agallamiento en raíces

Las diferencias en las poblaciones de nematodos en el suelo fueron significativas (H48,74; $P<0,0001$). Los portainjertos de tomate nativos GA ($\bar{X}=12187.50$) y GM ($\bar{X}=6528.50$) fueron los dos únicos tratamientos que mostraron valores estadísticamente superiores que el testigo híbrido comercial Cid-F ($\bar{X}=4837.50$). Es importante resaltar que en los tres injertos evaluados no hubo aumento de las poblaciones de J2 de *M. incognita* a los 120 ddt, mientras que el híbrido comercial Cid F1® presentó un incremento de 1500 nematodos/planta. Respecto al portainjerto nativo GC, injerto Cid F1®-GC y Cid F1®-GM, estos mostraron una reducción entre el 50 y 75% de las poblaciones de nematodos J2 en el suelo (Figura 8). La resistencia de cultivares de tomate a diferentes niveles de inóculo de *M. incognita* fueron confirmadas por Nask y Qadir (2018), quienes encontraron que con el aumento en el nivel de inóculo hubo disminuciones significativas en los parámetros morfológicos de las plantas y en el índice de agallamiento de raíces y masas de huevos. Los genotipos evaluados en el presente trabajo mostraron tolerancia a nematodos y a la formación de agallas en raíces, como fuera reportado

por Cervantes- Moreno *et al.* (2014) al evaluar 26 colectas de tomates nativos de México con variaciones en respuesta a la tolerancia al nematodo *M. incognita*. Además, la formación de agallas en las raíces está determinada por la respuesta del cultivo ante la presencia e invasión, por el tipo y cantidad de nematodos presentes y sus características biológicas de alimentación y reproducción (Navarro- Barthelemy *et al.*, 2009).

En el índice de agallamiento se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos (H= 12,44; P=0,0464). El testigo híbrido comercial Cid-F1® mostró los valores más altos de este índice (\bar{X} = 7,67) y los tratamientos restantes fluctuaron entre los valores de \bar{X} = 5,67 (Cid-F1®-GM) a \bar{X} = 7,63 (GM). Se observó un comportamiento similar a la presencia de nematodos, en el cual los injertos Cid F1®-GM (\bar{X} = 5,67) y Cid F1®-GA (\bar{X} = 6,18) mostraron el menor número de agallas en las raíces, con diferencia estadística respecto al testigo Cid F1®, y a los tratamientos (GM, GC,GA), aunque se destacó que el injerto Cid F1®-GM mostró menor sensibilidad a la infección por *M. incognita* (Figura 3). De acuerdo al objetivo de la presente investigación, este es un resultado interesante que debe seguirse explorando con otras variantes (altura de la planta, peso fresco y seco de la raíz), asociado al potencial que mostró en cuanto a rendimiento y calidad de frutos (Tabla II y III). Se ha encontrado que los patrones de tomate aumentan la producción de la de la variedad injertada en suelos infestados con *Meloidogyne* y disminuyen la severidad de la enfermedad causada por agallas en raíces (Verdejo-Lucas y Talavera, 2015); además, estos autores señalan que los patrones parcialmente resistentes pueden dar lugar a la acumulación progresiva de inóculo en el suelo.

La resistencia natural de las plantas a patógenos se basa en una combinación de cambios físicos, bioquímicos y moleculares, como la lignificación o la inducción de varias proteínas

relacionadas con la patogénesis y que predisponen a la planta a resistir infecciones adicionales, aunque el éxito de los portainjertos de tomates resistentes en suelos infestados con nematodos podría variar según las poblaciones locales de *Meloidogyne*, y limitar su utilidad como alternativa al control químico si no hay un manejo adecuado del cultivo (Cortada *et al.*, 2008; Rangel *et al.*, 2010).

La resistencia a nematodos formadores de agallas en raíces también puede atribuirse a la presencia del gen Mi-1, como lo reportaron Verdejo-Lucas *et al.* (2013) al identificar que los portainjertos Brigeor, Morgan, King-Kong, Unifort y Emperador exhibieron altos niveles de resistencia, mientras que Multifort y Maxifort mostraron resistencia intermedia frente a una población inicial de 6,000 huevos de *M. arenaria* y *M. javanica*. La familia Solanaceae abarca especies silvestres que han sido reportadas como resistentes al ataque de agentes patógenos del suelo y a *M. incognita*, por lo que su uso como portainjertos ha sido recomendado (Navarrete *et al.*, 2018; Vargas *et al.*, 2018).

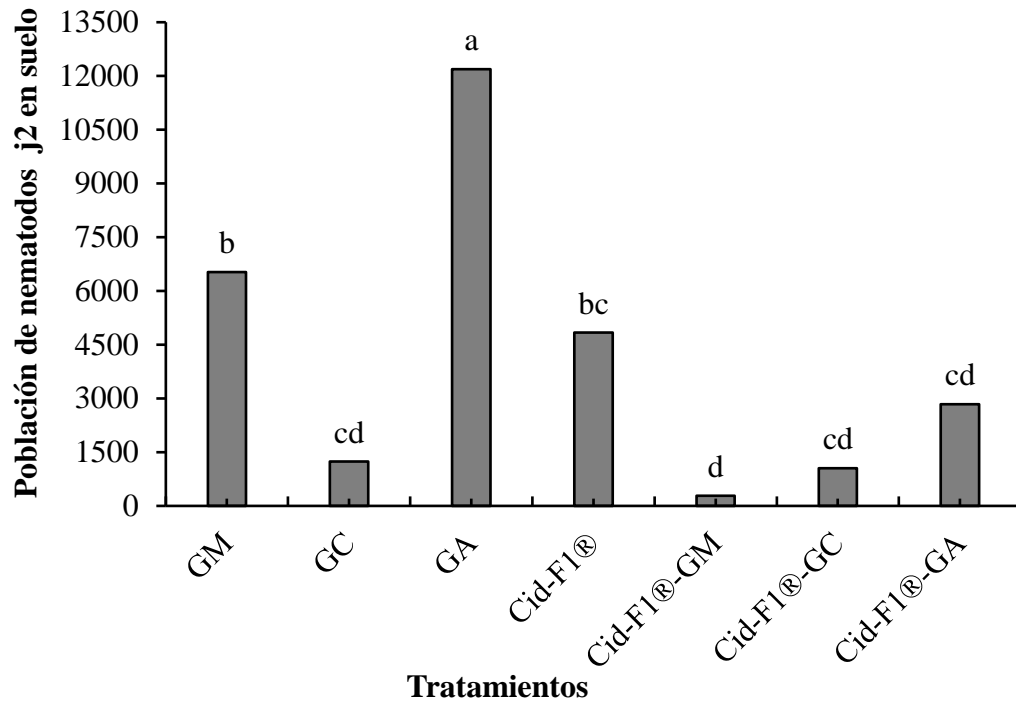


Figura 8. Efecto de tratamientos sobre la población de nematodos juveniles activos J2 en 100 g de suelo a 120 ddt. Donde: GM=Genotipo Manzana, GC=Genotipo Ciruela, GA=Genotipo Arriñonado, Cid-F1®=testigo; Cid-F1® injertados sobre sobre los Genotipos: Manzana (Cid-F1®-GM), Ciruela (Cid-F1®-GC) y Arriñonado (Cid-F1®-GA). Barras con letras iguales, no son estadísticamente diferentes (LSD Fisher, 0.05).

En el índice de agallamiento se observó un comportamiento similar a la presencia de nematodos, en el cual los injertos Cid FI®-GM y Cid FI®-GA mostraron el menor número de agallas en las raíces, con diferencia estadística respecto al testigo Cid FI®, aunque se destaca que en el injerto Cid FI®-GM mostró aún sensibilidad menor a la infección por *M. incognita* (Figura 9) que de acuerdo al objetivo de nuestra investigación es un resultado interesante que debe seguirse explorando con otras variantes; aunado al potencial que mostró en cuanto a rendimiento y calidad de frutos (Tabla I y II). Se ha investigado que los patrones de tomate

aumentan la producción de la de la variedad injertada en suelos infestados con *Meloidogyne* y disminuyen la severidad de la enfermedad causada por agallas en raíces (Verdejo-Lucas y Talavera, 2015), además, señalan que los patrones parcialmente resistentes puede dar lugar a la acumulación progresiva de inóculo en el suelo.

La resistencia natural de las plantas a patógenos se basa en una combinación de cambios físicos, bioquímicos y moleculares, como la lignificación o la inducción de varias proteínas relacionadas con la patogénesis y predisponen a la planta a resistir infecciones adicionales, aunque el éxito de los portainjertos de tomates resistentes en suelos infestados con nematodos podría variar según las poblaciones locales de *Meloidogyne*, y limitar su utilidad como alternativa al control químico si no hay un manejo adecuado del cultivo (Cortada *et al.*, 2008; Rangel *et al.*, 2010).

La resistencia a nematodos formadores de agallas en raíces, también puede atribuirse a la presencia del gen Mi-1, como lo reportaron Verdejo-Lucas *et al.* (2013) al identificar que los portainjertos Brigeor, Morgan, King-Kong, Unifort y Emperador exhibieron altos niveles de resistencia y Multifort y Maxifort resistencia intermedia frente a una población inicial de 6,000 huevos de *Meloidogyne arenaria* y *Meloidogyne javanica*. La familia Solanáceae abarca especies silvestres que han sido reportadas como resistentes al ataque de agentes patógenos del suelo y a *M. incognita* y se recomienda su utilización como portainjertos (Vargas *et al.*, 2018).

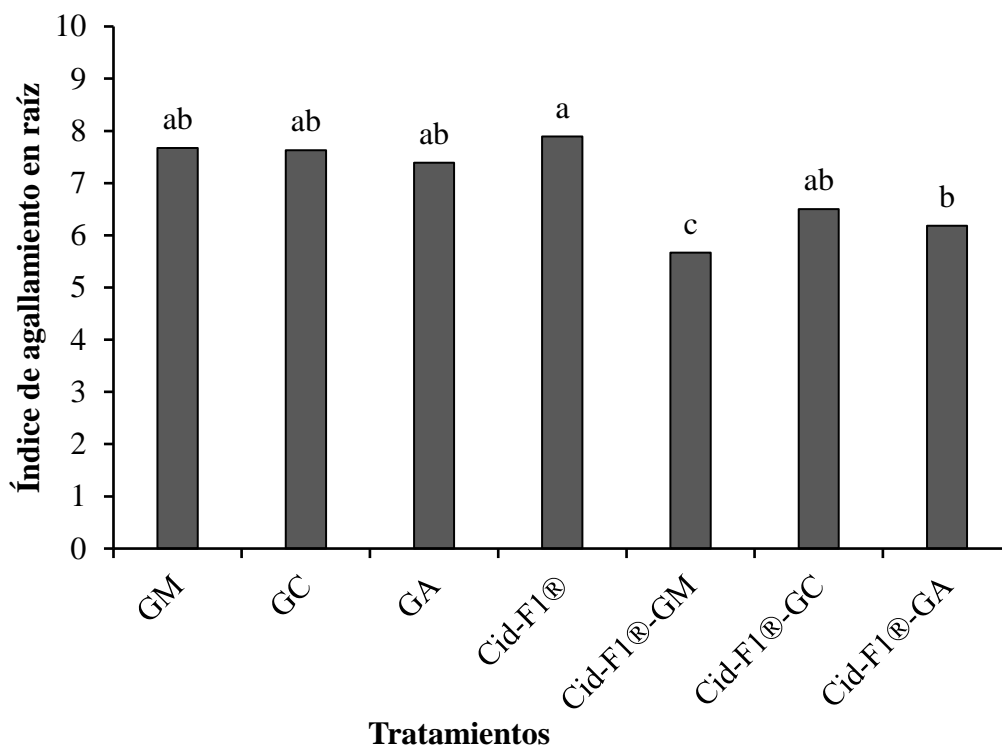


Figura. 9. Efecto de tratamientos sobre el índice de agallamiento de raíces por *M. incognita* a 120 ddt. Donde: GM=Genotipo Manzana, GC=Genotipo Ciruela, GA=Genotipo Arriñonado, Cid-F1®=testigo; Cid-F1® injertados sobre los Genotipos: Manzana (Cid-F1®-GM), Ciruela (Cid-F1®-GC) y Arriñonado (Cid-F1®-GA). Barras con letras iguales, no son estadísticamente diferentes (LSD Fisher, 0.05).

Parámetros de frutos de tomate evaluados

Peso y rendimiento de frutos

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para el peso de los frutos ($H=1539,32$; $P<0,0001$), el peso promedio de los frutos de los portainjertos nativos Manzana ($\bar{X}=95,27$ g) y Cid-F1® ($\bar{X}=80,27$ g) presentaron los mayores valores con respecto al testigo ($\bar{X}=52,84$), con diferencias de más de 42,43g y 27,4g respectivamente. El rendimiento del injerto de Cid F1® sobre el portainjerto Manzana fue superior a todos los tratamientos y se encontró una diferencia estadística significativa con el resto de los tratamientos. Es de

resaltar que este mismo tratamiento presentó el menor número de nematodos y agallas, y su respuesta con los valores altos en el rendimiento de frutos. En general, las plantas con injerto incrementaron su rendimiento en 125,90; 97,06 y 77,5% para el portainjerto Manzana, Ciruelo y Arriñonado, respecto al testigo. Consecuentemente, los pesos promedios de frutos reflejaron positivamente en el rendimiento final (Tabla 22).

Tabla 22. Parámetros de frutos de tomate Cid F1[®] injertados sobre genotipos nativos de tomate y sin injertar

Tratamiento	Peso promedio de fruto g	Rendimiento kg·m ⁻²	Diámetro del fruto (mm)	
			Ecuatorial	Polar
Genotipo Manzana	95.27 a	7.41 c	60.84 a	47.79 d
Genotipo Ciruela	19.78 e	4.13 e	32.17 e	28.51 f
Genotipo Arriñonado	79.05 b	5.56 d	59.64 a	35.48 e
Cid F1 [®]	52.84 d	5.79 d	40.76 d	51.70 c
Cid F1 [®] - sobre Genotipo Manzana	80.27 b	13.08 a	46.82 b	59.63 a
Cid F1 [®] - sobre Genotipo Ciruela	70.14 c	11.41 b	45.18 c	56.75 b
Cid F1 [®] - sobre Genotipo Arriñonado	72.81 c	10.28 b	45.33 c	57.63 b

Valores con letras iguales dentro de cada columna son similares estadísticamente (LSD Fisher para comparaciones paramétricas y comparación de a pares para no paramétricas, $P \leq 0,05$).

Los portainjertos evaluados se reflejan en los resultados de rendimiento obtenidos en este trabajo, como lo mencionan Krumbein y Schwarz (2013), al obtener frutos de mayor tamaño con Maxifort y Beaufort. Las características de calidad de frutos de tomate por efecto de los injertos están fuertemente influenciadas por la combinación portainjerto-vástago, que pueden

influir en las cantidades de hormonas producidas en la planta con un efecto en la relación entre órganos consumidores y órganos productores (*sink/source*) y por ende en la mejora en la calidad de frutos producidos (Kyriacou *et al.*, 2017; Abu- Glion, *et al.*, 2019). Además, el efecto de la combinación de injerto interactúa con otros factores como clima, prácticas culturales, duración e intensidad del estrés biótico o abiótico, disposición de agua y nutrientes (Riga, 2015).

Diámetros de frutos

Por las características intrínsecas de los genotipos nativos, hubo diferencias entre los diámetros ecuatoriales ($H= 1606,19$; $P<0,0001$) y diámetros polares ($H= 1943,05$; $P<0,0001$) en los frutos de los tratamientos Manzana, Ciruelo y Arriñonado. Sin embargo, cuando estos fueron utilizados como portainjertos del híbrido comercial Cid F1[®], los valores de diámetro ecuatorial y diámetro polar superaron al testigo en los tres genotipos (Tabla 22). De acuerdo a la Norma Mexicana NMX-FF-031-1997 de clasificación de tamaño del fruto de tomate por su diámetro ecuatorial, los frutos cosechados en las plantas injertadas correspondieron a la categoría chica (38-52mm), igual que los obtenidos en el tratamiento testigo. No obstante, como se señaló, los tomates nativos poseen características de tamaño de fruto particulares; por lo tanto, los portainjertos nativos Manzana y Arriñonado correspondieron a la categoría de tamaño grande (59-71mm) y el portainjerto Ciruela a tamaño chico (38-52 mm).

Parámetros de calidad de frutos

pH y Conductividad Eléctrica

Los valores de pH en el jugo de los frutos cosechados fueron mayores en los frutos de las plantas injertadas sobre el portainjerto Manzana y Arriñonado y únicamente diferente al

portainjerto Ciruela sin injertar (Tabla 23). Sin embargo, no existieron diferencias estadísticamente significativas ($F= 1,87$; $P=0,1035$). Djidonou *et al.* (2016) registraron valores de pH similares, en un rango de 4,40-4,50 cuando evaluaron el efecto de injerto del tomate Florida 47 con portainjertos interespecíficos Beaufort y Multifort, además de 3,58-4,24 en contenido de °Brix. Por otro lado, Ruiz (2008) encontró que pueden existir diversos factores que modifiquen o afecten el pH, como los niveles de fertilización a base de potasio. La conductividad eléctrica fue mayor en el portainjerto Ciruela sin injertar ($4,73\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$), mientras que fue menor para Cid F1[®] y Cid F1[®] injertado sobre el portainjerto Ciruela ($3,76$ y $3,9073\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ respectivamente) (Tabla 23). Las pocas variaciones obtenidas en el pH y la CE pueden atribuirse al tipo de solución nutritiva estándar utilizada en la nutrición en los tratamientos del ensayo.

Sólidos solubles totales y firmeza de frutos

Se encontraron diferencias significativas en los °Brix de los tratamientos ($H= 37,61$; $P<0,0001$). El contenido de sólidos solubles totales en los portainjertos nativos Manzana y Arriñonado sin injertar fueron de $4,96$ y $4,90^\circ\text{Brix}$, respectivamente (Tabla 23). Estos resultados son similares a los reportados por Bonilla-Barrientos *et al.* (2014) al evaluar tomates nativos de Puebla y Oaxaca y obtener un contenido promedio de sólidos solubles totales de $4,44^\circ\text{Brix}$, quienes además sugieren que es posible hacer selección de individuos para aumentar su contenido. En tanto que en los injertos Cid F1[®] sobre los portainjertos Manzana y Arriñonado, incrementaron su contenido de °Brix en $9,4\%$ y $26,3\%$ en referencia a no injertados, lo cual los hace más atractivos al consumo en fresco, indicando el grado de

maduración óptima de cosecha de los frutos y la calidad de los nutrientes. En todos los tratamientos evaluados se superaron los valores de referencia (3,5 a 5,5) para los °Brix de tomate para el consumo en fresco, como lo enfatizan Preciado *et al.* (2011).

Tabla 23. Calidad de frutos de tomate Cid F1[®] injertados sobre genotipos nativos de tomate y sin injertar

Tratamiento	pH del fruto	CE dS·m ⁻¹	Sólidos solubles totales °Brix	Firmeza mm
Genotipo Manzana	4.11 ab	4.60 ab	4.96 c	6.32 a
Genotipo Ciruela	3.96 b	4.73 a	5.40 b	6.40 a
Genotipo Arriñonado	4.11 ab	4.64 ab	4.90 c	6.72 a
Cid F1 [®]	4.14 ab	3.76 c	5.39 b	6.96 a
Cid F1 [®] -sobre Genotipo Manzana	4.36 a	3.95 bc	5.43 b	7.05 a
Cid F1 [®] -sobre Genotipo Ciruela	4.19 ab	3.90 c	5.81 ab	6.96 a
Cid F1 [®] -sobre Genotipo Arriñonado	4.28 a	4.26 abc	6.19 a	6.98 a

Valores con letras iguales dentro de cada columna son similares estadísticamente (LSD Fisher para comparaciones paramétricas y comparación de a pares para no paramétricas, $P \leq 0,05$).

Debido que los frutos se cosecharon con las mismas características de maduración considerando su color, no se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos respecto a la firmeza ($H = 4,72$; $P = 0,5797$; Tabla 24), la que es considerada como uno de los parámetros o factores más importantes para determinar la calidad de los frutos de tomate,

como lo menciona Batu (2004), debido a que representa un estado de fruto óptimo para su comercialización y consumo en fresco, libre de magulladuras o daños internos (Ramos *et al.*, 2010).

La sincronización entre la firmeza y el color de los frutos al momento de cosechar podría ayudar al productor a adaptar sus condiciones de cultivo y producir frutos con una relación predefinida de ambas características. De esta manera es posible obtener calidad y aceptabilidad del producto cosechado (Schouten *et al.*, 2007).

Conclusiones

El portainjerto nativo tipo Manzana como portainjerto del híbrido comercial Cid F1[®] mostró tolerancia moderada al nematodo *M. incognita* presente en suelo. Además, mejoró el rendimiento en más del 100%, constituyendo una alternativa para en el manejo de nematodos en el cultivo de tomate en agricultura protegida, pero que se debe combinar con otras técnicas de control, tales como el uso de hongos entomopatógenos, solos o formulados en aceites vegetales

El uso de los tres portainjertos nativos como portainjertos del híbrido Cid F1[®] incrementó los rendimientos, el tamaño y la calidad de fruto, obteniéndose valores aceptables de acuerdo a las normas de calidad para frutos frescos.

Esta investigación es el primer antecedente de la respuesta de los tres portainjertos nativos (injerto y no injerto) bajo condiciones de invernadero. Sin embargo, se debe seguir explorando otras alternativas para el manejo de nematodos del suelo a fin de aumentar los rendimientos del cultivo de tomate.

Referencias

- Abu GH, Alkalai-Tuvia S, Zaaroor-Presman M, Chalupowic D, Zanbar M, Amichai M, Cohen S, Shemer T, Sarig S, Fallik E (2019) Effects of Rootstock/Scion Combination and Two Irrigation Water Qualities on Cherry Tomato Yield and Postharvest Fruit Quality. *Hort. 5*: 1-10.
- Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Casanoves F, Di Rienzo JA, Robledo CW (2008) Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Báez-Valdez EP, Carrillo-Fasio JA, Báez-Sañudo MA, García-Estrada RS, Valdez-Torres JB, Contreras-Martínez R (2010) Resistant rootstocks utilization for *Fusarium* control (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Snyder & Hansen race 3) in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) under shade conditions. *Rev. Mex. Fitopatol.* 28: 111-123.
- Batu, A (2004) Determination of acceptable firmness and color values of tomatoes. *J. Food Eng.* 61: 471-475.
- Bergougnoux V (2014) The history of tomato: from domestication to biopharming. *Biotechnol. Adv.* 32: 170-189.
- Bonilla-Barrientos O, Lobato-Ortiz R, García-Zavala JJ, Cruz-Izquierdo S, Reyes-López D, Hernández-Leal E, Hernández-Bautista A (2014) Agronomic and morphological diversity of local kidney and bell pepper-shaped tomatoes from Puebla and Oaxaca, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 37: 129 -139.
- Brasceso F, Asgedom D, Casari G (2019) Strategic analysis and intervention plan for fresh and industrial tomato in the Agro-Commodities Procurement Zone of the pilot Integrated Agro-Industrial Park in Central-Eastern Oromia, Ethiopia. Addis Ababa.

- Bridge J, Page SLJ (1980) Estimation of root-knot nematode infestation levels on roots using a rating chart. *Trop. Pest Manag.* 26: 296-298.
- Cervantes-Moreno R, Rodríguez-Pérez JE, Carrillo FC, Sahagún-Castellanos J, Rodríguez-Guzmán E (2014) Tolerance of 26 native tomato collections from México to nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. *Rev. Chapingo Serie Hort.* 20: 5-18.
- Cobb NA (1918) Estimating the nematode population of soil. United States. Department of Agriculture of United State (USDA) 1: 1-48.
- Cortada L, Sorribas FJ, Ornat C, Kaloshian I, Verdejo-Lucas S (2008) Variability in infection and reproduction of *Meloidogyne javanica* on tomato root-stocks with the *Mi* resistance gene. *Plant Pathol.* 57: 1125-1135.
- Cortada L, Sorribas FJ, Ornat C, Andrés MF, Verdejo-Lucas S (2009) Response of tomato rootstocks carrying the *Mi*-resistance gene to populations of *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita* and *M. javanica*. *Eur. J. Plant Pathol.* 124: 337-343.
- Dhivya R, Sadasakthi, A, Sivakumar M (2014) “Response of wild solanum rootstocks to root-knot nematode (*Meloidogyne incognita* Kofoid and White),” *Internat. J. Plant. Sci.* 9: 117-122.
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW (2018). InfoStat, versión 2018, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Djidonou D, Simonne AH, Koch KE, Brecht JK, Zhao X (2016) Nutritional Quality of Field-grown Tomato Fruit as Affected by Grafting with Interspecific Hybrid Rootstocks. *HortSci.* 48: 485-492.

- Kaya HK, Stock P (1997) Techniques in insects nematology. 281-324. In: Annuals of techniques in insect's pathology. Academic Press, San Diego. USA.
- Khalil MS, Kenawy A, Gohrab MA, Mohammed EE (2012) Impact of microbial agents on *Meloidogyne incognita* management and morphogenesis of tomato. *JBiopest. 5*: 28-35.
- Krumbein A, Schwarz D (2013) Grafting: A possibility to enhance health-promoting and flavour compounds in tomato fruits of shaded plants?. *Sci. Hortic. 149*: 97-107.
- Kyriacou MC, Roupheal Y, Colla G, Zrenner R, Schwarz D (2017) Vegetable Grafting: The Implications of a Growing Agronomic Imperative for Vegetable Fruit Quality and Nutritive Value. *Front. Plant. Sci* 8: 1-23.
- Leyva-Mir SG, González-Solano CM, Rodríguez-Pérez JE, Montalvo-Hernández D (2013) Behavior of advanced lines of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) to phytopathogens at Chapingo, Mexico. *Rev. Chapingo Serie Hort.19*: 301-313.
- Mahibbur RM, Govindarajulu Z (1997) A modification of the test of Shapiro and Wilks for normality. *Journal of Applied Statistics*, 24: 219-235.
- Montgomery DC (1991). Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 589 p.
- Nask MF, Qadir RA (2018) Evaluation of Four Tomato Genotypes Resistance to Root-Knot Nematode. *Kurd. J. Appl. Res.*3: 53-57
- Navarro-Barthelemy L, Gómez L, Enrique R, González FM, Rodríguez MG (2009) Response of tomato genotypes (*Solanum lycopersicum* L.) to the parasitism of *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. *Rev. Protección Veg.* 24: 54-56.
- Norma Mexicana (1997) NMX-FF-031-SCFI-1997. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano – Hortalizas frescas - Tomate (*Lycopersicon*

esculentum Mill)- Especificaciones.

<https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-031-1998.PDF> (Cons. 20/06/2019).

Owusu SB, Kwoseh CK, Starr JL, Davies FT (2016) Grafting for management of root-knot nematodes, *Meloidogyne incognita*, in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Nematropica* 46: 14-21.

Preciado RP, Fortis HM, García-Hernández JL, Rueda PE, Esparza RJ, Lara HA, Segura CM y Orozco VJ (2011) Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia* 36: 689-693.

Ramos-García ML, Bautista-Baños S, Barrera-Necha LL, Bosquez-Molina E, Alia-Tejacal I, Estrada-Carrillo M (2010) Antimicrobial compounds added in edible coatings for use in horticultural products. *Rev. Mex. Fitopatol.* 28: 44-57.

Rangel SG, Castro ME, Beltrán PE, Reyes CH, García PE (2010) El ácido salicílico y su participación en la resistencia a patógenos en plantas. *Biológicas.* 12: 90-95.

Riga P (2015) Effect of rootstock on growth, fruit production and quality of tomato plants grown under low temperature and light conditions. *Hortic. Environ. Biote.* 56: 626-638.

Ruiz-Sánchez CA (2008) Effect of the potassium fertilizer on the chemical quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits stored less than two temperatures. *Rev. Fac. Agron.* 25: 286-302.

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

- Schouten RE, Huijben TPM, Tijskens LMM, Kooten O (2007) Modelling quality attributes of truss tomatoes: Linking colour and firmness maturity. *Postharvest Biol. Tec.* 45: 298-306.
- SIAP (2019) Producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>.
- Steiner AA (1984) The universal nutrient solution. In: Proceedings of the Sixth International Congress on Soilless Culture. Lunteren, 29 April-5 May. International Society for Soilless Culture: Secretariat of ISOSC. Wageningen, The Netherlands. pp: 633-650
- Tatu NS, Amissah N (2019) Grafting: An Effective Strategy for Nematode Management in Tomato Genotypes. *Recent Advances in Tomato Breeding and Production*. Provisional Chapter 1-14.
- Taylor AL, Sasser JN (1978) Biology, Identification and Control of Root-knot Nematodes, *Meloidogyne* Species. International *Meloidogyne* Project, Department of Plant Pathology, North Carolina State University and the U.S. Agency for International Development, Raleigh, North Carolina, U.S.A. 111 pp.
- Vargas Y, Nicolalde J, Alcívar W, Moncayo L, Caicedo C, Pico J, Ron L, Viera W (2018) Response of wild solanaceae to *Meloidogyne incognita* inoculation and its graft compatibility with tree tomato (*Solanum betaceum*). *Nematropica* 48: 126-135.
- Verdejo-Lucas S, Blanco M, Cortada L, Sorribas FJ (2013) Resistance of tomato rootstocks to *Meloidogyne arenaria* and *Meloidogyne javanica* under intermittent elevated soil temperatures above 28°C. *Crop Prot.* 46: 57-62.

Verdejo-Lucas S, Talavera RM (2015) Patrones de Tomate para la Gestión de Nematodos Agalladores (*Meloidogyne* spp.) Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. 31 pp.

Williams L J, & Abdi H (2010). Fisher's least significant difference (LSD) test. Encyclopedia of research design, 218: 840-853.

Zuckerman BM, Mai WF, Harrison MB (1987) Fitonematología. Manual de laboratorio. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 248 pp.

CAPÍTULO VI

Antecedentes sobre el uso de extractos de *Cannabis sativa* L. sobre el control de plagas en cultivos de importancia económica incluyendo nematodos formadores de agallas

Resumen

En el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* L., el nematodo agallador de raíces del género *Meloidogyne* spp. es una de las principales limitantes para su producción y se ha catalogado como de mayor importancia económica. Se han identificado una gran variedad de sustancias vegetales con propiedades nematocidas aplicadas como extractos o enmiendas al suelo a pesar de algunas limitantes como su naturaleza volátil y poca persistencia en el suelo. Muchas de ellas han sido de forma experimental y no se encuentran fácilmente en el mercado. Se han realizado esfuerzos para encontrar moléculas de origen natural con efectos nematocidas y una de las plantas que poco se ha estudiado es *Cannabis sativa*, aunque su uso ha sido prohibido o limitado por sus componentes químicos psicotrópicos existen escasas investigaciones sobre su gran potencial nematocida y que podría complementar o reemplazar el uso de nematocidas sintéticos. Es importante seguir investigando sobre sus usos y en el futuro puede existir la posibilidad de hacer extracciones de sus componentes en forma de extractos acuosos, metanólicos o cetónicos con fines fines experimentales para el control de nematodos formadores de agallas del género *Meloidogyne* spp.

Introducción

Una amplia gama de sustancias vegetales has sido identificados por poseer propiedades nematocidas (Chitwood, 2002; Andrés *et al.*, 2012), y su aplicación se ha sido sugerido como una técnica más dentro del manejo de nematodos, aunque muchas esencias vegetales aún no están disponibles en el mercado Andrés *et al.* (2012). La naturaleza volátil de las esencias de

plantas disminuye la persistencia en el suelo lo que puede dificultar su eficacia (Jardim *et al.*, 2018).

Se han identificado y evaluado especies de plantas con propiedades nematocidas aplicadas como extractos o como enmiendas al suelo, tales como: *Azadirachta indica*, *Tagetes erecta*, *T. patula*, *T. minuta*, *Brassica napus*, *Artemisia spp*, *Chrysanthemum coronarium*, *C. segetum*, *Calendula officinalis*, *C. marítima*, *C. suffruticosa*, *Gaillardia pulchella*, *Inula viscosa*, *Rudbeckia hirta*, *Crotalaria spp*. *Canavalia ensiformis*, *Ricinus comunis*, *Poenia suffruticosa*, *secale cereale*, *Raphanus sativus*, lechuga, entre otros (Oka, 2010., Collange, *et al.*, 2011). Esto indica los esfuerzos efectuados para encontrar moléculas de origen natural con efectos nematocidas.

Una de las plantas controversiales en nuestra sociedad es *C. sativa* (De Backer *et al.*, 2009). Ha sido una de las plantas medicinales más antiguas, se ha cultivado por siglos para la producción de fibras y semillas. En muchos países su cultivo ha sido prohibido por su contenido de componentes químicos psicotrópicos principalmente (trans-9-tetrahidrocannabinol, también conocido como THC (Fischedick *et al.*, 2010; Mariotti *et al.*, 2016).

Se han señalado sus propiedades medicinales como tratamiento a muchas enfermedades y sus efectos benéficos en la salud por sus propiedades psicotrópicas. Esto ha dado lugar a que en países como Holanda, Alemania, Rumania, Eslovenia, Israel, Estados Unidos Italia y recientemente en el año 2017 en México, se han legalizado con propósitos medicinales y de investigación. Estos factores han determinado el aumento de interés por el cultivo de la planta y el uso de sus derivados para la producción de fibra, en la industria del papel, las semillas

en la industria alimenticia, en la producción de aceites para tintas, como tratamiento para preservación de madera, producción de jabón y detergentes (Callaway, 2004).

Las flores y hojas superiores también contienen un aceite esencial utilizado como fragancia en los cosméticos, jabones, velas y como saborizante en alimentos. Así también los aceites esenciales han sido evaluados exitosamente para el control de larvas de mosquitos (Thomas *et al.*, 2000) y recientemente, por tener acción anti-microbial (Verma *et al.*, 2014) y propiedades nematocidas en el área agrícola (Kayani *et al.*, 2012; Mukhtaret *et al.*, 2013).

Kayani *al.*, (2012) evaluaron *C. sativa* (Cannabaceae) y *Zanthoxylum alatum* Roxb. (Rutaceae) como plantas antagonistas para el control de *M. incógnita* en el cultivo de pepino, incorporados como enmiendas al suelo en diferentes dosis, encontrando reducciones significativas en la infestación de nematodos en número de agallas y masas de huevecillos; además de aumentar el crecimiento de las plantas a dosis de 20 g aplicados como enmiendas orgánicas en ambas plantas. Los efectos nematocidas se explican por la toxicidad de productos secundarios resultantes de la descomposición en el suelo como los cannabinoides, terpenos, cetonas, alcaloides, entre otros.

Mukhtar *et al.*, (2013) evaluaron la actividad nematocida de extractos de *C. sativa* L. y *Z. alatum* Roxb. a diferentes concentraciones contra *M. incognita* en condiciones de laboratorio y evaluaron la eclosión de huevos, la mortalidad e infectividad, encontrando mayor mortalidad de juveniles j2 (90 %) cuando éstos fueron expuestos a los extractos *C. sativa* L. por 6 y 12 horas, además registraron mayor inhibición en la eclosión de huevos con la misma planta. Sus resultados mostraron que los extractos de *C. sativa* poseen gran potencial para el control de nematodos y podrían reemplazar el uso de nematocidas sintéticos.

Conclusiones

C. sativa tiene propiedades medicinales para el tratamiento de enfermedades. Tiene uso industrial en la producción de papel, fibra, tintas, jabón y otros. Las semillas se utilizan en la industria alimenticia. Sus aceites se han estudiado para el control de larvas de mosquitos, además de tener efectos antimicrobiales.

Existen sólo dos investigaciones experimentales relacionadas al control de *M. incognita*, uno a nivel de laboratorio y el otro en el cultivo de pepino con resultados promisorios por lo que es necesario seguir investigando al respecto y sobre todo tener en cuenta el aspecto legal para utilizarse con propósitos científicos.

Literatura citada

Andrés, M.F., González-Coloma, A., Sanz, J., Burillo, J., Sainz, P. (2012) Nematicidal activity of essential oils: a review. *Phytochem. Rev.* 11, 371–390.

[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.](#)

De Backer, B., B. Debrus, P. Lebrun, L. Theunis, N. Dubois, L. Decock, A. Verstraete, P. Hubert, C. Charlier (2009) Innovative development and validation of an HPLC/DAD method for the qualitative and quantitative determination of major cannabinoids in Cannabis plant material, *J. Chromatogr. B* 877 4115–4124.

Fishedick, J. T., A. Hazekamp, T. Herkelens, Y.H. Choi, R. Verpoorte, Metabolic fingerprinting of *Cannabis sativa* L., cannabinoids and terpenoids for chemotaxonomic and drug standardization purposes, *Phytochemistry* 71:2058–2073.

- Jardim, I.N., Oliveira, D.N., Silva, G.H., Campos, V.P., de Souza, P.E. (2018) (E)-cinnamaldehyde from the essential oil of *Cinnamomum cassia* controls *Meloidogyne incognita* in soybean plants. *J. Pest Sci.* 91, 479–487.
- Kayani, M.Z., Mukhtar, T., Hussain, M.A.(2012) Evaluation of nematicidal effects of *Cannabis sativa* L. and *Zanthoxylum alatum* Roxb. against root-knot nematodes, *Meloidogyne incognita*. *Crop Prot.* 39, 52–56.
- Khalil, M. S. A. Kenawy, M. A. Gohrab and E. E. Mohammed (2012) Impact of microbial agents on *Meloidogyne incognita* management and morphogenesis of tomato. *Journal of Biopesticides* 5: 1-6
- Chitwood, D.J., 2002. Phytochemical based strategies for nematode control. *Annu. Rev. Phytopathol.* 40, 221–249.
- Mukhtar, T., Kayani, M.Z., Hussain, M.A. (2013) Nematicidal activities of *Cannabis sativa* L. and *Zanthoxylum alatum* Roxb. against *Meloidogyne incognita*. *Ind.Crop. Prod* 42, 447–453.
- Oka Y. (2010) Mechanisms of Nematode Suppression by Organic Soil Amendments-A Review. *Applied Soil Ecology* 44: 101-115, <http://dx.doi:10.1016/j.apsoil.2009.11.003>
- Salazar-Antón, W. y, T. J. Guzmán-Hernández (2013) Efecto de poblaciones de *Meloidogyne* sp. en el desarrollo y rendimiento del tomate. *Agronomía Mesoamericana* 24: 419-426n

Conclusiones generales

Los nematodos del género *Meloidogyne* se adaptan a cualquier tipo de suelos, condiciones climáticas y en un amplio rango de altitudes, provocando afectaciones en las raíces de las plantas y por consecuencia la disminución de los rendimientos del cultivo de tomate *S.*

lycopersicum L. si no se hace un manejo adecuado de ellos considerando todos los factores que permiten su reproducción.

Para llevar a cabo con éxito el desarrollo del cultivo de tomate es importante realizar análisis de suelos con técnicas adecuadas y planificar integralmente las actividades culturales para mejorar la calidad de la cosecha. Las propiedades físicas de los suelos están correlacionadas con las propiedades químicas y la dinámica de los elementos constituyentes de la fertilidad y de la diversidad biológica.

Existen alternativas para el control de nematodos como el uso de organismos biológicos a base de *P. lilanicus* y *B. subtilis*, los cuales han mostrado gran potencial nematicida y coadyuvan en la obtención de mayores rendimientos. Otras alternativas sugeridas son el uso de genotipos de tomate nativos utilizados como portainjertos que confieren tolerancia a las plantas por las altas poblaciones de nematodos presentes en el suelo y además mejoran los rendimientos. Así también se deben explorar otras opciones como el uso de extractos de plantas que han sido poco investigadas como el caso de *C. sativa*

Cualquier método disponible utilizado debe combinarse con otras técnicas para la prevención, manejo y control de nematodos fitopatógenos. Se sugiere continuar explorando otras alternativas bioecológicas para el manejo de nematodos en los cultivos.