

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y NEGOCIOS SAN QUINTÍN



Efectividad Biológica de Productos Nematicidas para el Control de
Meloidogyne sp., y su Efecto como Biofertilizantes en Tomate

POR:

SAÚL MORALES MARTÍNEZ

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

SAN QUINTÍN, ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. OCTUBRE 2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y NEGOCIOS SAN QUINTÍN
 CAMPUS ENSENADA



“Efectividad Biológica de Productos Nematicidas para el Control de *Meloidogyne* sp., y su Efecto como Biofertilizantes en Tomate”

TESIS

PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTA

SAÚL MORALES MARTÍNEZ
339398

A quien el Comité de Tesis autoriza el trabajo terminal, después de haber efectuado una revisión minuciosa del mismo y de acuerdo con el Art. 19 del R.G.E.P.E.P, las y los señores profesores emiten los siguientes votos aprobatorios mediante rubrica:

IMELDA VIRGINIA LÓPEZ
 SÁNCHEZ
 DIRECTOR

GERARDO
 MONTELONGO RUIZ
 CODIRECTOR

JOSÉ GUADALUPE
 PEDRO MÉNDEZ
 SINODAL

JULIO CÉSAR CHACÓN
 HERNÁNDEZ
 SINODAL

SALVADOR ORDAZ SILVA
 SINODAL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
 DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE INGENIERÍA
 Y NEGOCIOS
 SAN QUINTÍN

“Por la Realización Plena del Ser”

RESUMEN

El género *Meloidogyne* constituye uno de los problemas fitosanitarios más importantes para muchos cultivos a nivel mundial, incluido el tomate, debido a que dañan severamente al sistema radicular, causando lesiones conocidas comúnmente como agallas o “papitas”. El control de las infestaciones de nematodos en invernaderos y cielo abierto se realiza principalmente mediante la aplicación de compuestos químicos, los cuales tienen un efecto negativo en el ecosistema, eliminando la micro biota benéfica y dañando también la salud humana, en la presencia de residuos químicos en los frutos y en la creación de organismos resistentes a dichos plaguicidas; por tal motivo, se buscan otras alternativas para el manejo de estos problemas fitosanitarios, entre las que se encuentran los extractos de origen botánico que tienen potencial en el control de plagas y enfermedades, los cuales han sido señalados como una alternativa eficaz al control químico, y suponen un menor riesgo a la salud humana y al ambiente. El objetivo de esta investigación fue evaluar la efectividad de productos nematocidas de origen biológico y botánico, para el control de nematodos fitopatógenos, específicamente del género *Meloidogyne*, así como observar su efecto como biofertilizantes en el cultivo de tomate en condiciones de invernadero. El nivel de daño en las plantas fue significativamente diferente entre los tratamientos evaluados ($\chi^2 = 37.256, \text{gl} = 20, P = 0.00815$). Cuando se aplicó el tratamiento 1 (extracto botánico más *Azospirillum brasilense*) se observaron con mayor frecuencia plantas con un daño moderado, mientras que en el tratamiento 3 (biológico más *Azospirillum brasilense*) se observó un daño severo y con el tratamiento 4 (biológico a base de *Paecilomyces lilacinus*) un daño moderadamente severo. El número de plantas muertas no fue diferente entre los tratamientos ($\chi^2 = 4.3438, \text{gl} = 5, P = 0.501$). Con

respecto al número de plantas vivas, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($\chi^2 = 3.7635, gl = 5, P = 0.5839$). Se puede observar que el producto de extractos botánicos adicionado con el promotor de crecimiento (*Azospirillum brasilense*) tuvo un efecto positivo con respecto al daño presentado en plantas dado que fue en éste donde el daño se presentó de una manera moderada en comparación con el tratamiento tres y cuatro.

Palabras clave: *Biológico, botánico, invernadero*

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios por guiarme y haberme permitido llegar hasta este momento de mi vida, alcanzar y culminar una etapa más en mi vida personal y formación profesional, mi carrera universitaria. Con perseverancia y paciencia pude lograr alcanzar una de mis metas.

Mi más sincero respeto y sobre todo agradecimiento a mi directora de tesis la M.P.A. Imelda V. López Sánchez por ser parte importante en la realización de este trabajo y también de mi formación académica en esta institución.

Al Dr. Gerardo Montelongo Ruíz, Codirector de tesis, un sincero agradecimiento a uno de los colaboradores en el logro de este trabajo, agradezco su gran apoyo y aporte de conocimientos, así como por la revisión de la misma.

Al M.P.A. José Guadalupe Pedro Méndez, un sincero agradecimiento por su apoyo en este trabajo de investigación y por ser un muy buen guía en el camino de mi formación universitaria en esta institución.

Al Dr. Julio César Chacón Hernández, por su valiosa ayuda en cuanto al análisis estadístico e interpretación de los resultados obtenidos en la misma. Mi más sincero agradecimiento.

Mi admiración y más sincero respeto, y sobre todo, agradecimiento a quien considero mi amigo, al Dr. Salvador Ordaz Silva, todo el trabajo realizado fue posible gracias a su apoyo incondicional, agradezco la confianza, el compartir y transmitir su pasión por la investigación sacando lo mejor de uno mismo. Gracias también por todo el conocimiento impartido en lo largo de mi estancia en la Universidad.

Por último, quiero agradecer a la Universidad que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo me ha permitido obtener una formación académica.

DEDICATORIA

A mis padres Bonfilio Baltazar Morales Hernández e Isabel Josefina Martínez Cruz, por la satisfacción y orgullo de ver realizado mi sueño y el de ellos al concluir mi carrera universitaria con este último paso, ellos son los que con su amor y cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. También son los que me han brindado el soporte para poder concentrarme en los estudios y nunca abandonarlos. Todos mis logros se los dedico a Dios, a ustedes y a mi hija por siempre.

A mi hija por su amor y compañía incondicional, por ser ese motivo y razón por la cual seguir y esforzarme cada día más, siendo yo quien más he aprendido de ella.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

| | |
|--|-------------------------------|
| RESUMEN | ¡Error! Marcador no definido. |
| AGRADECIMIENTOS | ¡Error! Marcador no definido. |
| DEDICATORIA | viii |
| ÍNDICE DE CONTENIDO | ix |
| ÍNDICE DE CUADROS | xx |
| ÍNDICE DE FIGURAS | x |
| CAPÍTULO I | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| OBJETIVO | ¡ |
| Error! Marcador no definido. | |
| JUSTIFICACIÓN | 3 |
| HIPÓTESIS | 3 |
| CAPÍTULO II | 4 |
| MARCO TEÓRICO | 4 |
| Generalidades del tomate | 4 |
| Importancia del tomate | 5 |
| Descripción de la planta | 5 |
| Clasificación taxonómica | 6 |
| Plagas y enfermedades | 7 |
| Generalidades de los nematodos | 8 |
| Nematodos ectoparásitos | 9 |
| Nemátodos semi endoparásitos | 9 |
| Nematodos endoparásitos migratorios | 9 |
| Nematodos sedentarios | 10 |
| Nematodos del tallo y bulbo | 10 |
| Nematodos agalladores de semilla | 11 |
| Nematodos foliares | 11 |
| Generalidades de <i>Meloidogyne</i> | 11 |
| Importancia y daño causado por nematodos del género <i>Meloidogyne</i> | 12 |
| Clasificación taxonómica de <i>Meloidogyne</i> | 13 |

| | |
|---|----|
| Importancia de los metabolitos secundarios en plantas..... | 14 |
| Extractos vegetales..... | 15 |
| Importancia de productos nematicidas de origen botánico y biológico para el control de <i>Meloidogyne</i> sp..... | 15 |
| CAPITULO III..... | 17 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 17 |
| Localización del área experimental..... | 17 |
| Productos evaluados y material vegetal..... | 17 |
| Diseño experimental..... | 18 |
| Severidad de los tratamientos..... | 18 |
| CAPÍTULO IV..... | 20 |
| RESULTADOS..... | 20 |
| CAPÍTULO V..... | 27 |
| CONCLUSIONES..... | 27 |
| CAPÍTULO VI..... | 28 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 28 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadros | | Páginas |
|---------|---|---------|
| 1 | Índice de severidad y por ciento de agallamiento..... | 20 |
| 2 | Frecuencia de plantas dañadas..... | 24 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figuras | | Páginas |
|---------|--|---------|
| 1 | Posibles rutas de propagación del tomate..... | 4 |
| 2 | Escala de infección radical causada por <i>Meloidogyne</i> | 18 |
| 3 | Representación gráfica de los residuos..... | 25 |
| 4 | Gráfica de cajas del número de plantas vivas y muertas..... | 26 |

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los nematodos agalladores, del género *Meloidogyne* son considerados como una de las principales plagas en hortalizas y diversos cultivos de importancia económica a nivel mundial (Martínez-Gallardo *et al.*, 2019). Son organismos microscópicos que parasitan y se desarrollan en las raíces de las plantas, el establecimiento de estos organismos en los cultivos da como resultado la privación de nutrientes, atrofia de crecimiento, clorosis y marchitamiento, ocasionando un bajo rendimiento de producción agrícola (Tapia *et al.* 2022).

Las especies de nematodos del género *Meloidogyne* constituyen uno de los problemas fitosanitarios más nocivos del cultivo del tomate a nivel mundial, debido a que dañan severamente el sistema radicular del cultivo causando lesiones conocidas como agallas. Este género de nematodos se distingue de otros por tener un amplio rango de hospederos, lo que ha ayudado a que sea catalogado como el género de mayor importancia económica en el mundo (Salazar y Guzmán, 2013).

Dentro de las hortalizas afectados por *Meloidogyne* sp se encuentra el tomate (*Solanum lycopersicum* L), que es considerado como uno de los productos hortofrutícolas mayormente cultivado a nivel mundial (Causse *et al.*, 2002). En México, es de gran importancia, tanto que para el año 2013 se produjeron 2.7 millones de toneladas, con una superficie de siembra superior a 82,000 ha, ocupando el segundo lugar en cuanto a producción, después del cultivo de chile (SAGARPA, 2016).

En México, los nematodos del género *Meloidogyne* son los más importantes para el cultivo de tomate, debido al porcentaje de pérdidas que ocasionan; en diferentes estados productores se reporta la presencia de cuatro especies: *M. incognita*, *M. arenaria*, *M. javanica* y *M. hapla* (Carrillo *et al.* 2000; Cid del Prado *et al.* 2001).

Tradicionalmente el control de las infestaciones de nematodos en invernaderos se realiza mediante la aplicación de compuestos químicos, comúnmente a través de la aplicación de Oxamyl (Desaeger et al. 2004), por consiguiente, el uso excesivo de estos productos ha tenido un efecto negativo en el ecosistema, eliminando la fauna benéfica, así como en la salud humana, en la presencia de residuos químicos en los frutos y en la creación de organismo resistentes a plaguicidas (Figuroa et al. 2016), por lo que en la actualidad se ha optado por diversas estrategias para el control de nematodos centrándose en la seguridad ambiental (Ralmi et al. 2016).

Dentro de estas estrategias encontramos los extractos de origen botánico puesto que, existe un gran número de especie vegetales que tienen potencial en el control de plagas, las cuales han sido señaladas como una alternativa eficaz al control químico, y suponen un menor riesgo a la salud humana o al ambiente (Devine et al. 2008; Souza et al. 2008; Abbasipour et al. 2011; Alegre et al., 2017; Quevedo et al. 2010).

Diversos extractos botánicos obtenidos a partir de neem (*Azadirachta indica* Juss.), la cineraria (*Cineraria maritima* DC.), el espárrago (*Asparagus officinalis* L.), la flor de muerto (*Tagetes* spp.), el algodón de seda (*Calotropis procera* Ait.), la menta (*Mentha longifolia* L.), el romero (*Rosmarinus officinalis* L.), la mejorana dulce (*Origanum majorana* L.), el tomillo (*Thymus vulgaris* L.) y la yuca (*Manihot esculenta* Krantz.), han demostrado efectividad en el control de nematodos, por lo que, la aplicación de estos compuestos podrían reducir costos de producción y las consecuencias negativas en el ambiente (Nath y Mukherjee, 2000; Sasanelli, 1992; Sasanelli y D'Addabbo, 1992).

OBJETIVO

Por todo lo anterior el presente trabajo fue realizado con el objetivo de evaluar la efectividad de productos nematocidas de origen biológico y botánico, para el control de nematodos fitopatógenos, específicamente del género *Meloidogyne*, así como observar su efecto como biofertilizantes sobre el cultivo de tomate en condiciones de invernadero.

JUSTIFICACIÓN

El tomate es una de las hortalizas de mayor demanda comercial a nivel mundial, en México, es uno de los principales cultivos en cuanto a superficie cultivada y cosechada; en el Valle de San Quintín, este cultivo presenta una gran importancia dada la mano de obra que se requiere para sacar adelante la producción desde la elaboración de la plántula, hasta la obtención de la cosecha. Al igual que la mayoría de las plantas cultivadas, esta hortaliza es muy susceptible al ataque de plagas y enfermedades. En las primeras destacan la mosca blanca, la paratrioza, los trips, gusanos defoliadores y del fruto, entre otras; mientras que algunas de las enfermedades que dañan al cultivo son aquellas producidas por virus y bacterias, además de los nematodos agalladores del género *Meloidogyne*, el cual es considerado uno de los de mayor importancia, ya que los daños pueden ser catastróficos si no se lleva a cabo un manejo adecuado de los mismos. El control del nematodo agallador se lleva a cabo principalmente con productos químicos, los cuales, como es bien sabido, presentan efectos colaterales en el medio ambiente y en otros organismos no blanco, lo que ha llevado a la búsqueda de nuevas alternativas para el manejo y control de enfermedades.

HIPOTESIS

Al menos uno de los productos evaluados presentará control sobre el nematodo agallador *Meloidogyne* sp.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Generalidades del tomate

El origen de la especie *Solanum lycopersicum* L. se ubica en la región Andina, desde el sur de Colombia hasta el norte de Chile. Posiblemente desde allí fue trasladada a América Central y México, donde se domesticó (Monardes 2009). No obstante, algunos otros autores mencionan que el centro de origen es específicamente en Perú, y que a partir de ahí se llevó a cabo su dispersión (Esquinas-Alcázar, 1981). Estos autores señalan también que la domesticación del tomate fue en México y que a partir de ahí se comenzó a expandir hacia todo el mundo dado que después de la conquista de México por Hernán Cortés en el año de 1523 fue llevado para el viejo mundo a través de España, de donde se diseminó hacia países como Portugal, Filipinas, África y Oriente Medio, así como a otros países europeos y asiáticos (Figura 1).

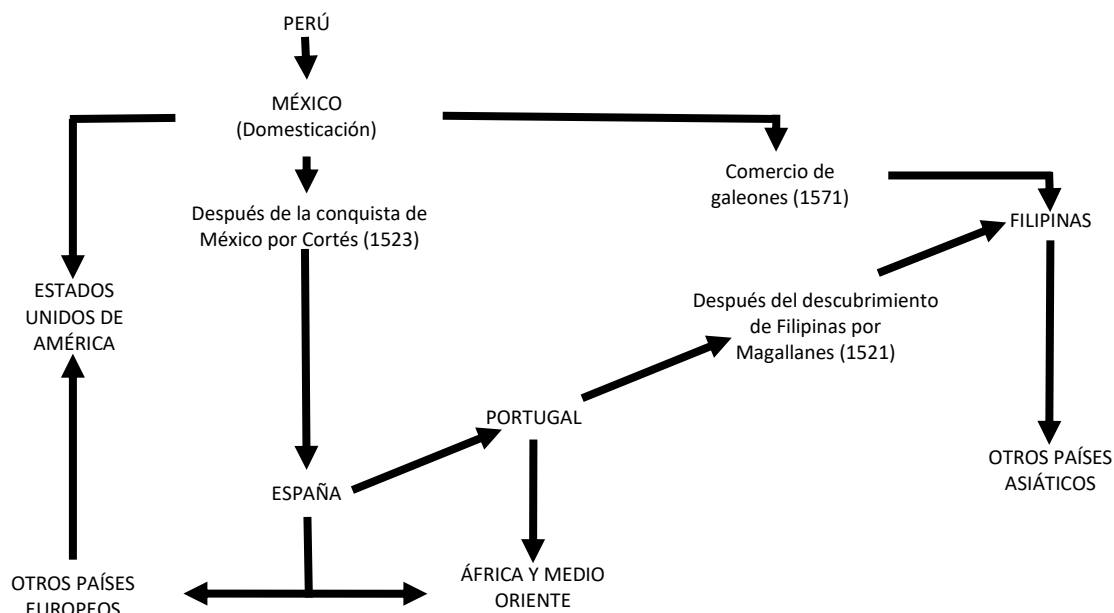


Figura 1. Posibles rutas de propagación del tomate desde el siglo XVI (Esquinas-Alcázar, 1981) tomado de (Nuez, 1995)

Importancia del tomate

El tomate, *Solanum lycopersicum*, es una de las principales hortalizas en el mundo por su demanda en el mercado y las grandes ganancias económicas que genera su comercialización (FAO, 2016; Nuez, 2001). Es una planta arbustiva que, de manera silvestre, su ciclo de vida puede llevarse hasta más de un año. Es una especie ampliamente explotada y cultivada en todo el mundo, aunque su diversidad genética se considera restringida (Peralta, Knapp & Spooner 2005; Govindaraj, Vetriventhan, & Srinivasan, 2015). En el ámbito mundial constituye la hortaliza más consumida y de mayor valor económico. Es cultivada en más de cien países, entre los cuales destacan China, Estados Unidos, India, Turquía y Egipto (Cestoni et al. 2006). La producción mundial de tomate está en constante crecimiento, no solo por el aumento de las áreas cultivadas, sino también porque los agricultores aplican tecnologías que les permiten elevar los rendimientos (Díaz, 2014). Para el 2021, México ocupó el 9º lugar en producción de este cultivo con 3'324,263 t en donde China encabeza la lista. A nivel nacional, los principales productores son Sinaloa, San Luis Potosí, Michoacán, Jalisco y Baja California. En este último estado, la mayor producción se centra en la región del Valle de San Quintín (SIAP, 2022).

Descripción de la planta

La planta de tomate inicia su crecimiento a partir de un tallo principal, formando entre 5 y 10 hojas antes de producir el primer racimo floral. Después de esto comienzan a diferenciarse dos hábitos de crecimiento de la planta: el indeterminado y el determinado. En plantas de crecimiento indeterminado, se forma en la axila de la hoja más joven una yema vegetativa que continúa el crecimiento y desplaza esta hoja a una posición por encima del racimo floral más reciente y sigue su crecimiento formando tres o cuatro hojas para posteriormente formar un nuevo racimo floral. A partir de aquí, el proceso se vuelve repetitivo, pues debajo de la nueva inflorescencia surge una yema que desarrolla nuevamente 3 o 4 hojas y un nuevo racimo floral y así sucesivamente hasta que las condiciones sean favorables al cultivo. De esta forma, las plantas de crecimiento

indeterminado pueden crecer indefinidamente alcanzando longitudes mayores a 5 metros. Generalmente requieren sistemas de soporte o “tutorado” para mantenerse erectas. La producción de frutos se maneja a lo largo de toda la planta y para evitar la proliferación de nuevos tallos, deben podarse continuamente los nuevos brotes axilares (Escobar y Lee, 2009). La planta de tomate es de estructura herbácea como todas las hortalizas cuya raíz principal se desarrolla rápidamente a profundidades superiores a un metro, aunque cuando se maneja por trasplante éste tiende a formar muchas raíces laterales y de tipo fibroso en los primeros 40 cm; su tallo es herbáceo y tiende a formar raíces adventicias, un poco lignificado cuando la planta ya es vieja; la hoja es compuesta, formada por varios foliolulos, la cual tiene una gran cantidad de pelos o tricomas. En las axilas de las mismas se encuentran las yemas que producen los tallos o brotes laterales, mejor conocidos como mamones o chupones (Mondoñedo, Pearsons y Medina, 2008).

Clasificación taxonómica

Actualmente existe una controversia sobre el nombre científico que le corresponde al tomate. Desde el año 1881, Philip Millar lo ubicó en el género *Lycopersicon* y lo denominó *L. esculentum*, que ha sido el nombre más ampliamente usado desde entonces. Sin embargo, en 1753 Carlos Linneo, científico, naturalista y botánico, quien sentó las bases de la taxonomía moderna, ya había colocado el tomate en el género *Solanum* asignándole el nombre científico de *S. lycopersicum* L.

El término “tomate” fue utilizado desde 1695 por los viajeros botánicos, quienes lo tomaron de las palabras “xitomate” o “xito-tomate”, como nombraban a esta planta los Aztecas en el antiguo México. Sin embargo, un siglo antes, los italianos ya lo cultivaban y lo nombraban como “pomo di oro” o manzana de oro, probablemente porque las primeras introducciones eran amarillas (Folquer, 1979).

El tomate pertenece a la familia Solanaceae; es una planta dicotiledónea (Cestoni et al., 2006). Semillaria (2015) menciona que es una planta herbácea perenne, que se cultiva en

forma anual para el consumo de sus frutos. La clasificación de esta planta es de la siguiente manera:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *S. lycopersicum* Mill.

Plagas y enfermedades

Como es bien sabido, en los agroecosistemas, y principalmente en donde se explotan monocultivos, es común encontrar diversas plagas y enfermedades generalmente especializadas que atacan a nuestras plantas. Para el caso del tomate y dentro de las primeras podemos encontrar una gran variedad de insectos y ácaros causando daños, entre las que destacan la paratrioza o “salerillo” (*Bactericera cockerelli*), mosca blanca (*Bemisia tabaci*, *B. argentifolii*, *Trialeurodes vaporariorum*), trips (*Frankliniella occidentalis*, *Thrips tabaci*), minador (*Liriomiza sativa*, *L. trifolii*), ácaros (*Tetranychus urticae*, *Aculops lycopersici*, *Polyphagotarsonemus latus*), pulgones (*Myzus persicae*, *Aphis gossypii*, *A. fabae*, *Macrosiphum euphorbiae*) gusanos del fruto y defoliadores (*Heliothis armígera*, *H. virescens*, *Spodoptera frugiperda*, *S. exigua*, *Trichoplusia ni*) y defoliadores, entre otros. Dentro de las enfermedades podemos mencionar a aquellas causadas por virus, tales como marchitez manchada (TSWV), virus mosaico del tabaco (ToMV) y el virus rugoso del tomate (ToBRFV), que en los últimos años ha obtenido

suma importancia para el manejo de este cultivo; entre las enfermedades causadas por hongos se pueden mencionar al tizón temprano (*Alternaria solani*), tizón tardío (*Phytophthora infestans*), marchitez por fusarium (*Fusarium oxysporum*, *F. solani*), así como bacterias del tipo *Pseudomonas solanacearum* y *Clavibacter michiganensis*, conocidas como marchitez y cáncer bacteriano, respectivamente. Entre las enfermedades más comunes para este cultivo se tienen a los nematodos agalladores, principalmente del género *Meloidogyne*, el cual está presente en todas las regiones productoras de tomate en México, además de que presenta una gran variedad de hospederos que incluyen tanto a plantas silvestres como cultivadas.

Generalidades de los nematodos

Los nematodos son organismos pluricelulares pertenecientes al reino Animal y en ocasiones son nombrados como anguílulas por presentar un aspecto vermiforme, aunque taxonómicamente presentan diferencias con los gusanos verdaderos. Se sabe que estos organismos pueden atacar y parasitar tanto al hombre como a animales produciendo diversas enfermedades en los mismos; algunos otros se alimentan de plantas vivas produciendo una gran variedad de síntomas. Los primeros nematodos fitoparásitos fueron reportados por Needham en 1743 al interior de las agallas del trigo. Sin embargo, no fue sino hacia el año de 1850 cuando se observaron otros nematodos, entre ellos los del bulbo y el tallo, los noduladores y formadores de quistes en las raíces (Agrios, 2019).

Los nematodos son animales simples, que a menudo sólo contienen 1000 células o menos, en todo o en parte de su ciclo vital tienen forma de gusano vermiforme, presentan cuerpos lisos no segmentados y carecen de patas u otros apéndices una forma de describir el cuerpo de un nematodo es la de un tubo dentro de un tubo. No obstante, las hembras de algunas especies se hinchan en la madurez y adquieren la forma de una pera o de cuerpos esferoides, (Lambert y Bekal, 2002; Agrios, 2019). De acuerdo al tipo de alimentación que presentan, estos organismos se pueden clasificar en:

Nematodos Ectoparásitos

Los nematodos ectoparásitos, utilizan su estilete para alimentarse de las células de las raíces de las plantas, esta estrategia les permite alimentarse de numerosas plantas, lo que facilita el cambio de anfitrión, pero su movilidad los hace muy susceptibles a los cambios ambientales y a los depredadores. El estilete es una estructura protráctil (que puede extenderse hacia afuera) y hueca que le permite al nematodo penetrar la raíz, así como perforar las células vegetales y extraer los nutrientes. Además, produce heridas, lo que facilita la entrada de hongos y bacterias causando enfermedades (Guzmán-Castaño-Villegas, 2012). Los nematodos ectoparásitos pueden tener estiletos extremadamente largos, que les ayudan a alimentarse profundamente dentro de la raíz de la planta en células vegetales ricas en nutrientes.

Nematodos Semi endoparásitos

En este caso, solamente la parte anterior del nematodo penetra las raíces y la parte posterior permanece en contacto con el suelo. Aunque algunas formas pueden penetrar parcialmente las raíces con la parte anterior de su cuerpo, la parte posterior de las hembras se proyecta desde las raíces y llega a adquirir forma abultada. Los juveniles o hembras inmaduras raramente penetran las raíces del hospedante completamente. En general, el tamaño de los nematodos y la longitud del estilete son intermedios comparados con los endoparásitos y ectoparásitos. Estos nematodos se dividen en semi-endoparásitos sedentarios y semiendoparásitos migratorios (Guzmán-Castaño-Villegas, 2012).

Nematodos Endoparásitos migratorios

Los nematodos endoparásitos migratorios pasan gran parte de su vida migrando a través de los tejidos radicales alimentándose de las células vegetales provocando lisis celular. Estos nematodos causan necrosis masiva de los tejidos vegetales debido a su migración y

alimentación. Cuando se alimentan de la planta, simplemente succionan el citoplasma celular de la planta con su estilete, matando a la célula. A diferencia de otros nematodos estos no hacen células de alimentación permanente, los nematodos se alimentan, se mueven y se reproducen principalmente dentro del tejido vegetal (Lambert y Bekal., 2002).

Nematodos Endoparásitos sedentarios

Son considerados como los nematodos más dañinos del mundo, los géneros (*Heterodera* y *Globodera*) producen quistes en las plantas, mientras que *Nacobbus* y *Meloidogyne* provocan agallas en la raíz. En estos nematodos, el segundo estadio juvenil invade la planta cerca de la punta de una raíz y migra a través del tejido a las células vasculares en desarrollo. Estos nematodos están completamente incrustados en la raíz durante sus etapas iniciales de desarrollo, pero más tarde los nematodos del quiste sobresalen de la raíz. Los nematodos juveniles inyectan secreciones dentro y alrededor de las células de la planta para estimular la formación de grandes células alimentadoras, de las que se alimentan de forma no destructiva a lo largo de su ciclo vital (Agrios, 2019).

Nematodos del tallo y del bulbo

Los nematodos del género *Ditylenchus*, son nematodos que atacan las partes superior e inferior de las plantas. Estos utilizan las gotas de agua para migrar hasta el tallo de la planta y por lo tanto son más perjudiciales en condiciones húmedas. La etapa infecciosa de los nematodos de tallo y bulbo es la cuarta etapa juvenil. Esta etapa a menudo entra en los tejidos vegetales emergentes bajo tierra, pero puede arrastrar los tallos en una película de agua y entrar en brotes a través de brotes, pecíolos o estomas. Una vez en la planta huésped, se alimentan de forma destructiva como endoparásitos migratorios, se mueven en adultos y se reproducen (Lambert y Bekal., 2002; Agrios, 2019).

Nematodos agalladores de semilla

Estos nematodos se transportan en partículas de agua hasta las hojas de las plantas donde se alimentan como ectoparásitos, provocando malformación en las mismas. Una vez que la planta comienza a florecer, los nematodos juveniles penetran en los primordios florales y empiezan a alimentarse de la semilla en desarrollo. Una vez adentro de la semilla, el nematodo se alimenta de ésta hasta que eventualmente la mata (Lambert y Bekal., 2002). Los nematodos agalladores de semilla pueden sobrevivir hasta por 30 años si se mantienen en un lugar fresco y seco. Cuando se dan las condiciones adecuadas de humedad y temperatura, el nematodo juvenil criptobiótico se activa y comienza de nuevo su ciclo de vida (Southey, 1972).

Nematodos foliares

Los nematodos foliares pertenecen al género *Aphelenchoides*. Los individuos adultos migran en películas de agua sobre los tallos a las hojas de su planta huésped y penetran a ellas a través de aberturas naturales (estomas). Una vez en las hojas, se alimentan destructivamente y ponen huevos. La actividad alimenticia de los nematodos provoca la clorosis y la necrosis características de la hoja, matándola en última instancia. Los nematodos son capaces de moverse de hoja a hoja si las condiciones ambientales adecuadas (húmedas) existen y pueden dañar gravemente una planta (Lambert y Bekal., 2002).

Generalidades de *Meloidogyne*

Los nematodos, pertenecientes al género *Meloidogyne*, son de las plagas más importantes en el cultivo de hortalizas, causando pérdidas de millones de dólares a causa de sus daños cada año, una de las razones principales es debido a su alto número de hospederos ya que se estima que afecta a más de 3,000 especies de plantas, el daño causado por estos

organismos se caracteriza principalmente por la formación de agallas en la raíz de la planta infectada (Martínez-Gallardo et al. 2019). A nivel mundial se han encontrado más de 70 especies de *Meloidogyne*, las cuales afectan a una gran variedad de cultivos y provocan una reducción considerable en la producción, y sin un adecuado manejo del cultivo son difíciles de controlar (López y Quesada, 1997; Dagatti et al. 2014).

En México, *Meloidogyne* es el género de nematodos fitoparásitos más importante que ataca al cultivo de tomate, debido al porcentaje de pérdidas que ocasiona y en diferentes estados productores se reporta la presencia de cuatro especies: *M. incognita*, *M. arenaria*, *M. javanica* y *M. hapla* (Carrillo et al. 2000; Cid del Prado et al. 2001).

Importancia y daño causado por nematodos del género *Meloidogyne*

En los últimos 20 años, el género *Meloidogyne* ha cobrado importancia en todo el mundo debido a su alta agresividad, creciente distribución geográfica y amplia gama de huéspedes (Carrillo-Fasio et al. 2020); se estima que causa pérdidas aproximadas de los 115 millones de dólar anuales (Figuroa et al. 2016). El género se encuentra mundialmente distribuido (Taylor y Sasser, 1983; Carrillo-Fasio et al. 2020). En México se ha reportado la presencia de esta plaga en los estados de Guanajuato, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Sinaloa, México, Veracruz, Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas, Nayarit, Chiapas, Puebla, Sonora, Tlaxcala y Baja California (Figuroa et al. 2016). México aportó 1.7% de la producción mundial de tomate durante el periodo de 2003 a 2017, produciendo en promedio 2.5 millones de toneladas de tomate rojo generando anualmente 14,759 millones de pesos (SAGARPA, 2020).

Las lesiones ocasionadas por los nematodos del género *Meloidogyne sp.*, ocurren principalmente en el área radical. Los estados juveniles son los que ocasionan mayor daño, las lesiones son causados durante la alimentación como resultado de las secreciones salivares que los nematodos liberan al alimentarse. La severidad de los daños varía de acuerdo al grado de infestación del nematodo, la especie de éste y la planta a la que

parasita (Guzmán et al. 2013; Dagatti et al. 2014). Los síntomas más significativos causados por nematodos fitopatógenos de este género son la reducción del sistema de raíces, la formación de nódulos, coloración anormal, deformación y reducción del tamaño de la planta, necrosis en hojas, debilitamiento de la planta y finalmente la muerte.

Clasificación taxonómica de *Meloidogyne*

Phyllum: Nematoda

Subphyllum: Secernentea

Orden: Tylenchida

Suborden: Tylenchina

Superfamilia: Tylenchoidea

Familia: Heteroderidae

Subfamilia: Meloidogyninae

Género: *Meloidogyne*

Aspectos biológicos y de comportamiento

Los nematodos adultos pertenecientes al género *Meloidogyne* sp. son fáciles de diferenciar morfológicamente. Los machos son vermiformes y miden aproximadamente de 1.2 a 1.5 mm de largo por 30 a 36 μm de diámetro, las hembras tienen forma de pera y un tamaño aproximado de 0.40 a 1.30 mm de largo por un ancho de 0.27 a 0.75 mm. Cada hembra deposita aproximadamente 500 huevecillos en una sustancia gelatinosa. Presentan dos etapas larvarias, esta última forma emerge del huevecillo y llega al suelo, donde se

desplaza hasta que encuentra una raíz susceptible, en caso de que un hospedante susceptible se encuentre en sus alrededores, la larva penetra a la raíz, se vuelve sedentaria y aumenta de grosor, tomando la forma de una salchicha (Agrios, 1998).

El ciclo de vida comprendido desde la etapa de huevecillo a otra igual puede concluir al cabo de 3 o 4 semanas bajo condiciones ambientales óptimas, en especial la temperatura. En algunas especies de nematodos la primera o segunda etapa larvaria no puede infectar a las plantas y sus funciones metabólicas se realizan en expensas de la energía almacenada en el huevo. Sin embargo, cuando se forman las etapas infectivas, éstas pueden desecarse si no se dan las condiciones, principalmente de humedad y temperatura, o bien los huevecillos pueden permanecer en reposo en el suelo durante años (Agrios, 2019).

Importancia de los metabolitos secundarios en plantas

Ciertos productos metabólicos tienen funciones ecológicas específicas como repelentes o atrayentes de animales. Algunos otros como pigmentos dando color a las flores y frutos, esto es de gran importancia en la reproducción puesto que atraen insectos polinizadores o animales que utilizan los frutos como fuente de alimento, contribuyendo de esta forma a la dispersión de las semillas (Hall et al. 2017).

Diversos compuestos protegen a las plantas frente a predadores, actuando como repelentes, proporcionando sabores amargos, haciéndolas venenosas o indigestas. También, actúan como mecanismos de defensa frente a diferentes patógenos (Patra, 2010).

Los metabolitos secundarios se agrupan en tres grupos: terpenoides, policétidos y fenopropanoides, según su biosíntesis de origen. Los alcaloides son metabolitos secundarios, de moléculas orgánicas nitrogenadas biosintetizados principalmente a partir de aminoácidos (Croteau et al. 2000).

Las plantas no producen un simple compuesto para defensa, sino que usualmente producen un complejo de metabolitos secundarios de diferentes clases para abordar

múltiples objetivos al mismo tiempo (Wink, 2008; Mason y Singer, 2015). Esta compleja composición varía entre cada órgano, estado de desarrollo y entre poblaciones. Lo que sugiere una estrategia química en contra de herbívoros y patógenos (Wink, 2018).

Los metabolitos secundarios han evolucionado como una importante línea de defensa, pero algunos de ellos se han utilizados para otros propósitos. Por ejemplo, en la floración de las plantas, dando olor y color de las flores; este último es debido a la producción de flavonoides, antocianinas, o carotenoides (Wink, 2003; 2018).

Extractos vegetales

Los extractos vegetales han demostrado su efectividad como una alternativa al control químico de plagas en la agricultura (Abbasipour et al. 2011), algunas plantas presentan características que proporcionan propiedades en la medicina (Khoo et al. 2016). Además, la obtención de extractos de diferentes órganos vegetales, han demostrado su viabilidad en la obtención de compuestos con potencial de usos como en la medicina moderna, agricultura y veterinaria (Do-ik et al. 2005; Fernandes y Freitas, 2007). De esta manera, se han utilizado extractos de tipo etanólicos, acuosos, hexánicos, clorofórmico y tuluénico (Rodríguez et al. 2005; Quevedo et al. 2010).

Importancia de productos nematicidas de origen botánico y biológico para el control de *Meloidogyne* sp

En la actualidad el control de los nematodos se ha vuelto cada vez más difícil por diversas razones. La mayoría de los nematicidas y fumigantes del suelo han sido retirados del mercado debido a su toxicidad y a su impacto nocivo en el medio ambiente, un ejemplo es el bromuro de metilo (Karpouzias et al. 2007). Por ello, existe una gran necesidad de desarrollar técnicas alternativas para el control de los nematodos.

En este contexto se han desarrollado estudios sobre la aplicación de extractos naturales para el control de plagas (Isman, 2000; Sousa et al., 2015), estos compuestos han sido estudiados en las últimas décadas con el fin de desarrollar alternativas al uso de insecticidas convencionales y diferentes trabajos a nivel mundial han demostrado la efectividad de los extractos vegetales y aceites esenciales como insecticidas (Isman y Grieneisen, 2014).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área experimental

El presente estudio se llevó a cabo en el invernadero que se encuentra dentro de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín de la Universidad Autónoma de Baja California, ubicada en el Ejido Padre Kino, km 180.2 de la carretera transpeninsular, Ensenada, Baja California, México. Es un invernadero de mediana tecnología que cuenta con seis módulos de 250 m² cada uno. Se utilizó uno de éstos para realizar la investigación, particularmente en el módulo marcado con el número seis, mismo que tiene la peculiaridad de estar infestado desde el año 2016 por el nematodo agallador *Meloidogyne* sp.

Productos evaluados y material vegetal

Para llevar a cabo el presente estudio se utilizó planta de tomate Saladette. Se evaluaron tres productos comerciales que fueron: Extracto botánico (extracto de *Larrea tridentata* adicionado extractos acuosos de neem y crisantemo), Promotor de crecimiento (a base de *Azospirillum brasilense*) y un producto biológico a base de *Paecilomyces lilacinus*; con estos productos se realizaron los siguientes tratamientos: T1: Extracto botánico + *Azospirillum brasilense*; T2: Extracto botánico; T3: Biológico + *Azospirillum brasilense*; T4: Biológico; T5: Testigo + *Azospirillum brasilense*; T6: Testigo. Los productos evaluados fueron proporcionados por la empresa NS Orgánicos, mientras que la plántula de tomate fue donada por la empresa Baja Plants sede San Quintín, Baja California.

Diseño experimental

Se utilizó la prueba Chi-cuadrada χ^2 (ecuación 1), para saber si las proporciones en las variables categóricas se encuentran asociadas (Tratamientos y Daño). Donde n_{ij} son las frecuencias observadas y E_{ij} son las frecuencias esperadas (Agresti, 2007).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(n_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (ec. 1)$$

Como las frecuencias esperadas son menores a 5 en cada celda y algunas son menores a uno, se utilizó la prueba de Monte Carlo para calcular el valor P (probabilidad de error) con 10000 réplicas. Se realizó la representación gráfica de los residuales obtenidos de la prueba de χ^2 . Con respecto al conteo de plantas vivas y muertas, estas se analizaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis (Zar, 2010). Todos los análisis se realizaron con ayuda del software R (2020).

Severidad de los tratamientos

Se evaluó con base en el índice de nudosidad, determinando el número de agallas y/o masas de huevos por planta, utilizando la escala de infección radical propuesta por Taylor y Sasser (1983), representada en la Figura 2.

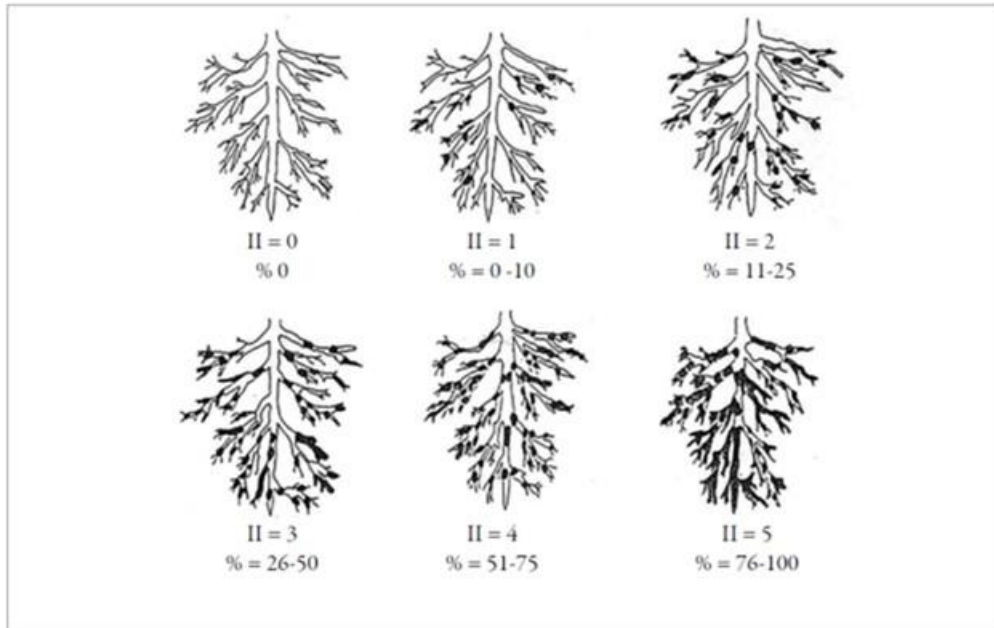


Figura 2. Escala de infección radical causada por *Meloidogyne* en condiciones de invernadero

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Para medir el porcentaje de agallamiento se seleccionaron nueve plantas de cada tratamiento, es decir, tres plantas por cada repetición. El índice de agallamiento (IG), se evaluó de acuerdo la escala propuesta por Taylor y Sasser (1978), donde: 0= 0 agallas, 1= 1-2 agallas, 2= 3-10 agallas, 3=11-30 agallas, 4= 31-100 agallas y 5= más de 100 agallas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Índice de severidad y porcentaje de agallamiento de acuerdo a la escala propuesta de Taylor y Sasser (1978) y plantas vivas y muertas por tratamiento y repetición

| Tratamiento/ repetición | No. De planta | Índice de severidad | % de daño | Plantas vivas | Plantas muertas |
|----------------------------|------------------|---------------------|-----------|------------------|--------------------|
| T1R1 | 1 | Muy severo | 76-100 | 7 | 13 |
| | 2 | Severo | 51-75 | | |
| | 3 | Severo | 51-75 | | |
| T1R2 | 1 | Ligero | 1-10 | 20 | 0 |
| | 2 | Moderado | 11-25 | | |
| | 3 | Moderado | 11-25 | | |
| T1R3 | 1 | Moderado | 11-25 | 20 | 1 |
| | 2 | Moderado | 11-25 | | |

| | | | | | |
|-------------|---|----------------------|--------|----|---|
| | 3 | Ligero | 1-10 | | |
| T2R1 | 1 | Muy severo | 76-100 | 14 | 4 |
| | 2 | Severo | 51-75 | | |
| | 3 | Muy severo | 76-100 | | |
| T2R2 | 1 | Severo | 51-75 | 19 | 1 |
| | 2 | Moderadamente severo | 26-50 | | |
| | 3 | Muy severo | 76-100 | | |
| T2R3 | 1 | Ligero | 1-10 | 12 | 8 |
| | 2 | Moderado | 11-25 | | |
| | 3 | Moderadamente severo | 26-50 | | |
| T3R1 | 1 | Severo | 51-75 | 11 | 8 |
| | 2 | Muy severo | 76-100 | | |
| | 3 | Severo | 51-75 | | |
| T3R2 | 1 | Severo | 51-75 | 12 | 6 |
| | 2 | Severo | 51-75 | | |
| | 3 | Severo | 51-75 | | |

| | | | | | |
|-------------|---|----------------------|--------|----|---|
| T3R3 | 1 | Moderadamente severo | 26-50 | 19 | 1 |
| | 2 | Severo | 76-100 | | |
| | 3 | Severo | 51-75 | | |
| T4R1 | 1 | Severo | 76-100 | 12 | 9 |
| | 2 | Muy severo | 76-100 | | |
| | 3 | Muy severo | 76-100 | | |
| T4R2 | 1 | Severo | 51-75 | 11 | 8 |
| | 2 | Muy severo | 76-100 | | |
| | 3 | Severo | 51-75 | | |
| T4R3 | 1 | Severo | 51-75 | 12 | 7 |
| | 2 | Muy severo | 76-100 | | |
| | 3 | Severo | 51-75 | | |
| T5R1 | 1 | Ligero | 1-10 | 16 | 3 |
| | 2 | Severo | 51-75 | | |
| | 3 | Muy severo | 76-100 | | |
| T5R2 | 1 | Moderadamente severo | 26-50 | | |

| | | | | | |
|-------------|---|----------------------|--------|----|---|
| | 2 | Severo | 51-75 | 16 | 2 |
| | 3 | Severo | 51-75 | | |
| T5R3 | 1 | Moderado | 11-25 | | |
| | 2 | Moderadamente severo | 26-50 | 14 | 5 |
| | 3 | Severo | 76-100 | | |
| T6R1 | 1 | Muy severo | 76-100 | | |
| | 2 | Muy severo | 76-100 | 18 | 1 |
| | 3 | Moderadamente severo | 26-50 | | |
| T6R2 | 1 | Severo | 51-75 | | |
| | 2 | Moderadamente severo | 26-50 | 12 | 6 |
| | 3 | Muy severo | 76-100 | | |
| T6R3 | 1 | Severo | 51-75 | | |
| | 2 | Severo | 51-75 | 12 | 6 |
| | 3 | Moderadamente severo | 51-75 | | |

El nivel de daño en las plantas fue significativamente diferente entre los tratamientos ($\chi^2 = 37.256, gl = 20, P = 0.00815$). Cuando se aplicó el tratamiento 1 se observaron con mayor frecuencia plantas con un daño moderado, mientras que en el

tratamiento 3 se observó un daño severo y con el tratamiento 4 un daño moderadamente severo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Frecuencia de plantas dañadas

| Tratamientos | Nivel de Daño | | | | | Total |
|--------------|---------------|----------|--------|----------------------|------------|-------|
| | Ligero | Moderado | Severo | Moderadamente Severo | Muy Severo | |
| 1 | 2 | 4 | 2 | 0 | 1 | 9 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 9 |
| 3 | 0 | 0 | 7 | 1 | 1 | 9 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 5 | 4 | 9 |
| 5 | 1 | 1 | 4 | 2 | 1 | 9 |
| 6 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 9 |
| Total | 4 | 6 | 18 | 13 | 13 | 54 |

En la Figura 1, se observa la representación de los residuales generados por la prueba Chi-cuadrada mediante círculos, los colores azul marino y azul celeste indican una asociación

positiva entre ese nivel categórico (daño) y el tratamiento correspondiente, mientras que los valores en color marrón indican una asociación negativa. Se observa que donde se aplicó el tratamiento 1 las plantas presentaron daños de ligero a moderado, pero en mayor proporción de plantas con daño moderado. Con este tratamiento las plantas no presentaron daños moderadamente severos (color marrón). En el tratamiento 5 se puede ver que las plantas mostraron un daño moderadamente severo. Mientras que, el color marrón se interpreta como una asociación negativa, lo que indica que la proporción de plantas no presentan daño en ese nivel de daño y entre más fuerte es el color marrón más se acentúa que las plantas no presentaran ese daño.

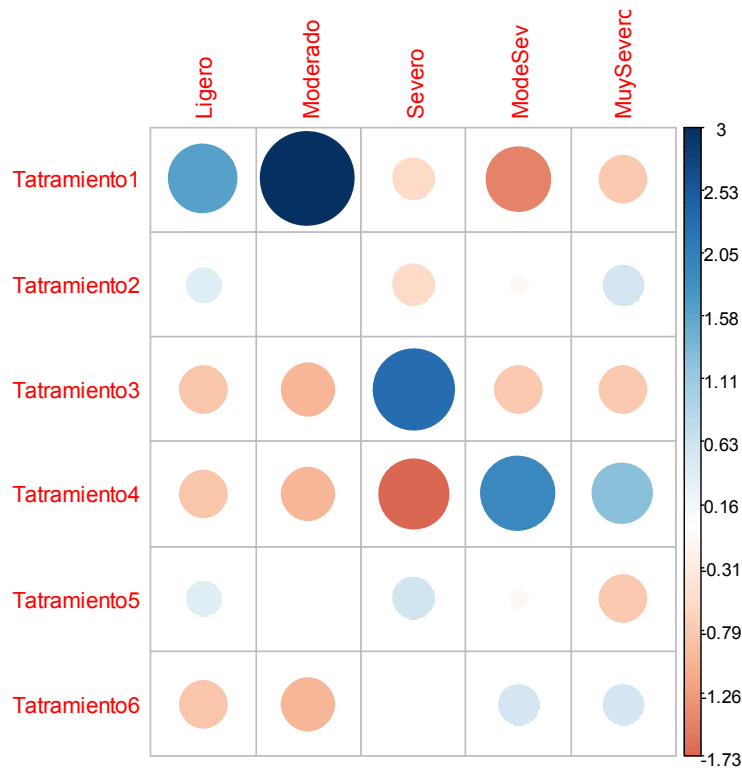


Figura 3. Representación gráfica de los residuales.

El número de plantas muertas no fue diferente entre los tratamientos ($\chi^2 = 4.3438, gl = 5, P = 0.501$). Con respecto al número de plantas vivas no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($\chi^2 = 3.7635, gl = 5, P = 0.5839$) (Figura 2).

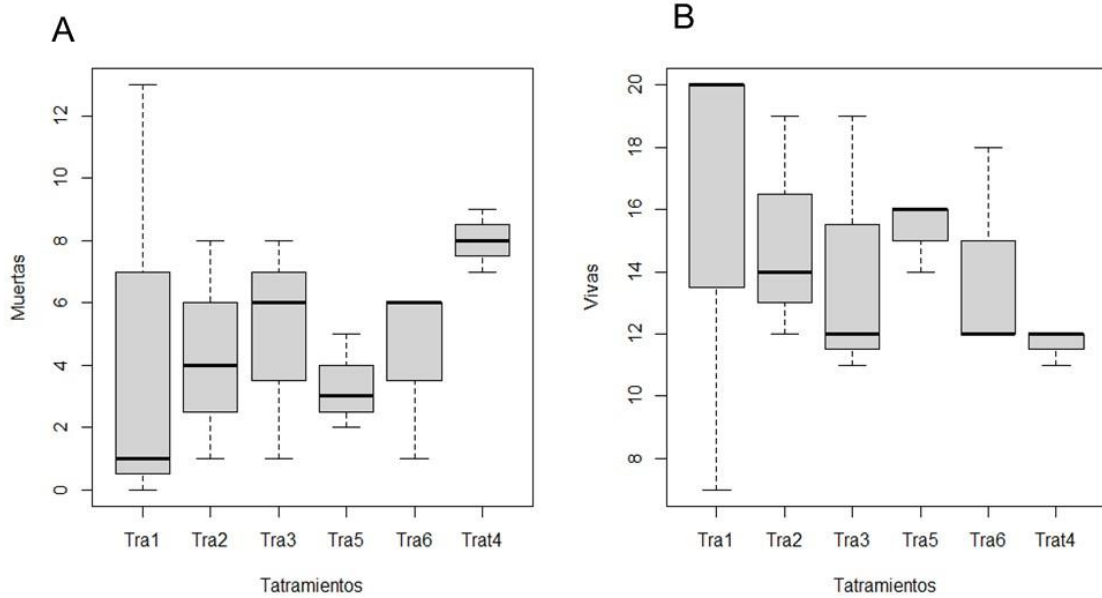


Figura 4. Gráfica de cajas del número de plantas A) muertas y B) vivas tratadas con diferentes nematocidas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en esta investigación se puede observar que el producto de extractos botánicos de gobernadora, neem y crisantemo más el producto a base de *Azospirillum* (T1) tuvo un efecto positivo con respecto al daño presentado en plantas dado que fue en éste donde el daño se presentó de una manera moderada en comparación con el tratamiento 3 (*Paecilomyces lilacinus* + *Azospirillum brassiliense*) y el T4 (*P. lilacinus*) de manera individual. Lo anterior nos da la pauta para realizar o evaluar el efecto individual de *Azospirillum brassiliense* para medir su potencial como promotor de crecimiento, el cual pudo verse afectado al ser probado junto con *Paecilomyces lilacinus*, quien pudiera haber presentado algún efecto de antagonismo y con el extracto a base de extractos botánicos el cual contiene vinagres de gobernadora que actúan como fungicida y bactericida.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- Abbasipour H., M. Mahmoudvand, F. Rastegar y M. H. Hosseipour. 2011. Bioactivities of jimsonweed extract, *Datura stramonium* L. (Solanaceae), against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 35: 623-629.
- Agresti, A. 2007. An Introduction to Categorical Data Analysis. 2ª Ed. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Agrios, G. 1998. Fitopatología. Tercera edición. Editorial Limusa. México, Distrito Federal.
- Agrios, G. N. 2019. Fitopatología. Segunda edición; Editorial Limusa, México, CDMX
- Alegre A., J. Iannacone y M. Cahuarpoma. 2017. Toxicidad del extracto acuoso, etanólico y hexánico de *Annona muricata*, *Minthostachys mollis*, *Lupinus mutabilis*, y *Chenopodium quinoa* sobre *Tetranychus urticae* y *Chrysoperla externa*. *Chilean Journal of Agriculture of Animal Science* 33 (3): 273-284.
- Carrillo-Fasio, J. A., Angúlo-Castro, A., Martínez-Gallardo, J. Á., Ayala-Tafoya, F., Yáñez-Juárez, M. G., & Retes-Manjarrez, J. E. 2020. Distribution and incidence of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) on pepper in Sinaloa, Mexico. *Tropical Plant Pathology*, 46(2), 195–200.
- 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.

- Causse, M., V. Saliba-Colombani, L. Lecomte, P. Duffe, P. Rousselle and M. Buret. 2002. QTL analysis of fruit quality in fresh market tomato: a few chromosome regions control the variation of sensory and instrumental traits. *Journal of Experimental Botany* 53:2089-2098.
- Cestoni, F; De Jovel, G; Urquilla, A. 2006. Perfil de negocios de tomate cherry o cereza hacia el mercado de los Estados Unidos (en línea). El Salvador. 73 p.
- Cid del Prado, V. I.; Hernández, J. A. y Tovar, S. A. 2001. Distribución de especies y razas de *Meloidogyne* en México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 19(01):32-39.
- Croteau, R., T. M. Kutchan y N. G. Lewis. 2000. Natural Products (Secondary Metabolites). *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* 24: 1250-1319.
- Dagatti B., C. V., C. B. Violeta y M. E. Herrera. 2014. Caracterización de daños producidos por *Meloidogyne* spp. (Nemata: Tylenchida) en la vid en Mendoza, Argentina. *Revista de Ciencias Agrícolas.* 31(2): 51 – 62.
- Desaeger, J., Csinos, A., Timper, P., Hammes, G. and Seebold, K. 2004. Soil fumigation and oxamyl drip applications for nematode and insect control in vegetable plasticulture. *Annals of Applied Biology* 145:59–70.
- Devine, Gregor J., Eza, Dominique, Ogusuku, Elena, & Furlong, Michael J. 2008. Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 25(1), 74-100.
- Díaz, V. 2014. Perfil comercial tomate (en línea). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala. 11 p.
- Do-Ik, K., P. Jong-Dae, K. Seon-Gon, K. Hyun, J. Mi-Soon y K. Sang-Soo. 2005. Screening of Some Crude Plant Extracts for Their Acaricidal and Insecticidal Efficacies. *Journal Asian-Pacific of Entomology* 8 (1): 93-100.

- Escobar, H. y Lee, R. 2009. Manual de producción de tomate bajo invernadero (en línea). v.2. 2 ed. Bogotá, Colombia. 180 p.
- Esquinas-Alcázar, J. T. 1981. Genetic resources of tomatoes and wild relatives. A global report. IBPGR, Rome.
- FAO. 2016. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia. s.f. Preparación de semilleros (en línea). Roma, Italia. 56 p.
- Fernandes, F. F. y E. P. S. Freitas. 2007. Acaricidal activity of an oleoresinous extract from *Copaifera reticulata* (Leguminosae: Caesalpinioideae) against larvae of the southern cattle tick, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae). *Veterinary Parasitology* 147: 150-154.
- Figueroa Hernández, V. M., Hernández Mar, B. M., & Román Martínez, M. A. 2016. Efectividad biológica del nematicida oxamyl en el control de *Meloidogyne* spp. en tomate *Solanum lycopersicum*. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 4(2), 37–43.
- Folquer, F. 1979. El tomate: Estudio de la planta y su producción comercial. Buenos Aires, Argentina. Hemisferio Sur. 104 p.
- Govindaraj, M., Vetriventhan, M. & M. Srinivasan. 2015. Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: an overview of its analytical perspectives *Genet. Res. Int.*, p. 431487, 10.1155/2015/431487
- Guzmán H., T., I. Varela B., S. Hernández V., J. Durán M., W. Montero C. 2013. Principales géneros de nematodos fitoparásitos asociados a plátano y piña en las regiones Huetar Norte y Huetar Atlántica de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 27(1): 85-92.

- Guzmán, P. O. A., Castaño, Z. J., Villegas, E. B. 2012. Principales nematodos fitoparásitos y síntomas ocasionados en cultivos de importancia económica. *Agron* 20(1): 38-50
- Hall, D., G. Camilo, R. Tonietto, J. Ollerton, K. Ahrné, M. Arduser, J. Ascher, K. Baldock, R. Fowler, G. Frankie, D. Goulson, B. Gunnarsson, M. Hanley, J. Jackson, G. Langellotto, D. Lowenstein, E. Minor, S. Philpott, S. Potts y C. Threlfall. 2017. The city as a refuge for insect pollinators. *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology* 31: 24–29.
- Isman, M. B. 2000. Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection* 19:603–8.
- Isman, M. B. y M. L. Grieneisen. 2014. Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. *Trends in Plant Science* 19(3): 140-145.
- Karpouzias, D. G., Pantelelis, I., Menkissoglu-Spiroudi, U., Golia, E. and Tsiropoulos, G. N. 2007. Leaching of the organophosphorus nematicide fosthiazate. *Chemosphere* 68:1359–64.
- Khoo, H. E., A. Azlan, K. W. Kong y A. Ismail. 2016. Phytochemicals and medicinals properties of indigenous tropical fruits with potencial for commercial development. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 7591951, 20.
- Lambert, K., & Bekal, S. 2002. The History of Nematodes. *Introduction to Plant-Parasitic Nematodes, Department of Crop Sciences*.
- López, R. y M. Quesada. 1997. Reproducción de *Meloidogyne incognita* en varias malezas presentes en costa rica. *Agronomía Mesoamericana*. 8(2): 112-115.
- Martínez-Gallardo, José Ángel, Díaz-Valdés, Tomás, Allende-Molar, Raúl, Retes-Manjarrez, Jesús Enrique, & Carrillo-Fasio, José Armando. 2019. Identificación y

- distribución de *Meloidogyne* spp. en tomate de Sinaloa México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), 453-459.
- Mason, P. A. y M. S. Singer. 2015. Defensive mixology: combining acquired chemicals towards defence. *Functional Ecology* 29: 441–450.
- Monardes, H. 2009. Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill): Características botánicas. Origen (en línea). Chile. Universidad de Chile 13 p.
- Mondoñedo, J. R., Parsons, D. B. y Medina, F. J. 2008. Manuales para educación agropecuaria. Tomates. Área: Producción vegetal. Editorial Trillas. México.
- Nath R.C. and Mukherjee B. 2000. Dioscorea floribunda, a potential source of nematocides of plant origin. *Nematología mediterranea*, 28:145-149.
- Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Editorial Mundi-Prensa. 793 pag.
- Nuez, F. 2001. El Cultivo del Tomate. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, Barcelona, México. 740 p.
- Patra, A. K. 2010. Meta-analyses of effects of phytochemicals on digestibility and rumen fermentation characteristics associated with methanogenesis. *Journal of the science of food and agriculture* 90(15): 2700–2708.
- Peralta, I. E.; Knapp, S.; Spooner, D. M. 2005. New species of wild tomatoes (*Solanum* section *Lycopersicon*: Solanaceae) from Northern Peru. *Systematic Botany* 30: 424-434.
- Quevedo, O., R. Crozzoli y G. Perichi. 2010. Uso de extractos acuosos y etanólicos de plantas para el control de *Meloidogyne enterolobii* (Nematoda: Tylenchida). *Fitopatología Venezolana* 23(2): 45-53.

- Ralmi, N.H.A.A., Khandaker, M.M., Mat, N. Occurrence and control of root knot nematode in crops: a review. *Aust J Crop Sci.* 2016; 10:1649–1654. doi: 10.21475/ajcs.2016.10.12.
- R Core Team. 2020. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rodríguez, M. T. B., A. C. Peña, E. G. Sarría, A. C. Cuéllar y H. Pérez-Saad. 2005. Efectos de los extractos acuoso, etanólico, clorofórmico y toluénico de *Brunfelsia nitida* Benth sobre la conducta exploratoria y pruebas de analgesia. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 10(2): 1-11.
- SAGARPA. 2016. Sistema de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP). Estadísticas por estado. SAGARPA. México. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>
- SAGARPA. 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/>.
- Salazar-Antón, Wilber; Guzmán-Hernández, Tomás de Jesús. (2013). Efecto de poblaciones de *Meloidogyne spp.* En el desarrollo y rendimiento del tomate. *Agronomía Mesoamericana*, Vol. 24, 419-426 Pp.
- Sasanelli N. 1992. Nematicidal activity of aqueous extracts from leaves of *Ruta graveolens* on *Xiphinema index*. *Nematología mediterranea* 20:53-55.
- Sasanelli N. and D'Addabbo T. 1992. The effect of *Cineraria maritima*, *Ruta graveolens* and *Tagetes erecta* extracts on the hatching of *Heterodera schachtii*. *Nematología mediterranea* 20:49-51.
- Semillaria. 2015. Clasificación taxonómica de tomate (en línea). s.p.
- SIAP. 2022. Panorama Agroalimentario. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México, México.

- Sousa, R., Rosa, J., Silva, C., Almeida, M., Novo, M., Cunha, A. and Fernandes-Ferreira, M. 2015. Larvicidal, molluscicidal and nematicidal activities of essential oils and compounds from *Foeniculum vulgare*. *Journal of Pest Science* 88:413–26.
- Souza A. P., M. R. Marqués, T. S. Mahmoud, B. A. Caputo, G. M. Canhete y C. B. Leite. 2008. Bioprospecting insecticidal compounds from plants native to Mato Grosso do Sul, Brazil. *Acta Botanica Brasilica* 22: 1136-1140.
- Southey, J.F. 1972. *Anguina tritici*. Commonwealth Institute of Helminthology Descriptions of Plant Parasitic Nematodes, Set 1, No. 13, pp.1-4. St. Albans, England.
- Tapia-Vázquez I., Montoya-Martínez A. C, De Los Santos-Villalobos S., Ek-Ramos M. J., Montesinos-Matías R., Martínez-Anaya C. 2022. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) a threat to agriculture in Mexico: biology, current control strategies, and perspectives. *World J Microbiol Biotechnol*. Jan 6;38(2):26.
- Taylor, A.L. and Sasser, J.N. (1978) Biology, Identification and Control of Root-Knot Nematodes. International Nematology Project, North Carolina State University, Graphics, Raleigh, 111.
- Taylor, A. y Sasser, J. 1983. Biología, identificación y control de nematodos del nudo de la raíz (especies de *Meloidogyne*). Primera edición. Artes gráficas de la Universidad del estado de Carolina del Norte. 111 p
- Wink, M. 2003. Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. *Phytochemistry* 64: 3–19.
- Wink, M. 2008. Evolutionary advantage and molecular modes of action of multicomponent mixtures used in phytomedicine. *Current Drug Metabolism* 9: 996–1009.

Wink, M. 2018. Plant Secondary Metabolites Modulate Insect Behavior-Steps Toward Addiction? *Frontiers in Physiology* 9: 364.

Zar, J. H. 2010. Biostatistical Analysis. 5^a Ed. Pearson. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ .