

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Evaluación *In vitro* de la Efectividad Biológica de Citronelol para el Control del
Nematodo *Meloidogyne Incognita* del Cultivo del Tomate *Solanum*
lycopersicum

Por:

JAHZEEL OSIRIS JUÁREZ CRUZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Evaluación *In vitro* de la Efectividad Biológica de Citronelol para el Control del Nematodo *Meloidogyne Incognita* del Cultivo del Tomate *Solanum lycopersicum*

Por:

JAHZEEL OSIRIS JUÁREZ CRUZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Yisa María Ochoa Fuentes
Asesor Principal



Dr. Ernesto Cerna Chávez
Coasesor

Elena G. E.

Ing. Elena Guadalupe García Enciso
Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coasesor
Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2023

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencia bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos ilustraciones gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Jahzeel Osiris Juárez Cruz
Nombre y Firma

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**, por su infinita misericordia y amor incondicional.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por brindarme las enseñanzas durante este largo camino.

Expreso mi especial agradecimiento a:

A la **Dra. Yisa María Ochoa Fuentes** por el apoyo, disposición y comprensión para la realización de esta tesis.

A la **Ing. Elena G. García Enciso** por su apoyo incondicional en el desarrollo del presente trabajo.

Al **Dr. Roberto Ríos Valdez** por su tiempo, paciencia en la ejecución del presente trabajo.

A mis amigos, **Alberto, Alejandra, Elena, Fátima, Itzel, Rafael, Yareth**, gracias por todo el apoyo brindado, gracias por compartir esta etapa conmigo, no pudo haber sido mejor, mis mejores deseos y éxitos para cada uno de ustedes.

DEDICATORIAS

A mi familia,

por su amor y apoyo incondicional durante toda mi vida, motivación constante en el logro de cada proyecto soñado.

A mis Hermanos por compartir alegrías y tropiezos de los cuales salimos ganadores, por su confianza y por permitirme estar en sus vidas, los amo a todos y cada uno de ustedes, Karla, Jese, Atenea, Leonardo, Emiliano.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
Justificación	2
Hipótesis	2
Objetivos Generales	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
Cultivo del Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	3
Importancia del cultivo	3
Producción	4
Producción mundial	4
Producción nacional	4
Generalidades del cultivo de tomate	4
Origen	5
Taxonomía y descripción botánica	5
Etapas fenológicas	6
Requerimientos edafo-climáticos	7
Temperatura	7
Humedad	7
Luz	8
Manejo de la planta	8
Entutorado	8
Poda	8
Polinización	9
Problemas fitosanitarios del tomate	9
<i>Fusarium oxysporum</i>	10
<i>Rhizoctonia solani</i>	10
<i>Pythium aphanidermatum</i>	11
Cenicilla (<i>Leveillula taurica</i>)	11
Plagas	12
Nematodos	12
Historia y Antecedentes de <i>Meloidogyne</i>	12
Taxonomía	13
Descripción de las características morfológicas distintivas de las especies de <i>Meloidogyne</i>	14

Hospedantes	14
Interacción hospedero – parásito	15
Ciclo de vida	15
Ecología	16
Síntomas causados por <i>Meloidogyne</i>	16
Manejo Integrado	17
Control cultural	17
Control biológico	17
Control químico	18
Abamectina	19
Descripción de los Extractos Vegetales	20
Importancia	20
Antecedentes de Citronelol	21
Compuestos fitoquímicos del citronelol	21
Acción bioquímica del citronelol en los nematodos	22
Casos de Estudio con citronelol	22
III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
Ubicación experimental	24
Obtención de la muestra	24
Extracción de nematodos	24
Método de centrifugación	24
Identificación de nematodos	25
Ventana de efectividad biológica	25
Bioensayo de porcentaje de mortalidad	26
Bioensayo con citronelol	26
Bioensayo con Abamectina	26
Análisis estadístico	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	29
Ventana biológica (pruebas preliminares)	29
Determinación de concentraciones efectivas para <i>M. incognita</i>	29
Determinación de concentraciones efectivas	31
V. CONCLUSIONES	37
VI. LITERATURA CITADA	38
ANEXOS	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Porcentaje de mortalidad en nematodos sometidos a la aplicación de Citronelol en concentraciones de 100 a 3000 ppm	36
Tabla 2 Porcentaje de mortalidad de nematodos bajo la aplicación de extracto de Citronelol y Abamectina en diferentes dosis	38
Tabla 3 Porcentaje de mortalidad del extracto de Citronelol	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Dosis de efectividad en el extracto de Citronelol	37
Figura 2 Comparación de dosis inhibitoria entre Citronelol y Abamectina	40

RESUMEN

En la actualidad se han reportado más de 4000 especies de nematodos fitoparásitos, las cuales provocan pérdidas anuales de casi el 15. Los nematodos como *Meloidogyne incognita* son patógenos de gran importancia a nivel mundial, a través de su estilete logran penetrar las células de las plantas, para así absorber los nutrientes causando enfermedades en diferentes cultivos, estas se determinan acorde al hábitat parasítico y a la sintomatología en el sistema radical y tejidos aéreos.

Hoy en día los nematodos fitopatógenos de las plantas, se encuentran siempre presentes en los cultivos hortícolas y este trabajo está orientado a lograr reducir la población del nematodo agallador *Meloidogyne incognita* que afecta al cultivo de tomate mediante el uso de un compuesto vegetal. El uso de bio-nematicidas con extractos vegetales, pueden eliminar varios efectos adversos causados por el uso de compuestos sintéticos, debido a la rápida biodegradabilidad de los metabolitos orgánicos, ya que estos desaparecen con facilidad del medio ambiente aéreo y del suelo después de que son aplicados en el campo.

Por lo tanto, el presente estudio se realizó con la finalidad de evaluar la efectividad del compuesto orgánico citronelol sobre individuos J2 de *Meloidogyne incognita* en tomate (*S. lycopersicum*), en el Laboratorio de toxicología, en el Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro localizado en la colonia Buenavista, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

El experimento consistió en la realización de una ventana biológica del extracto citronelol partiendo de una concentración de 3000ppm a 100ppm para la identificación del rango potencial de dosificación.

Posteriormente se llevó a cabo un bioensayo por inmersión empleando el extracto citronelol en con 50 individuos j2 del nematodo agallador *Meloidogyne* sp. a dosis de: 2000, 1750, 1500, 1250, 1000, 750, 500 y 250 ppm, con ocho repeticiones y un testigo absoluto. De igual forma se elaboró otro bioensayo utilizando abamectina con 1.5% de ingrediente activo con las dosis de 15 000, 13 000, 11 000, 9 000, 6 000, 5 000, 3 000, 2 000 ppm con ocho repeticiones y

un testigo absoluto, se utilizaron 50 individuos j2 del nematodo agallador *Meloidogyne spp.*

Con los resultados obtenidos de los bioensayos se obtuvieron los porcentajes de mortalidad son respecto a la fórmula de Abbott (1925).

Se elaboró un análisis estadístico o prueba *Probit* la cual arrojó como resultado la dosis letal 50 y dosis letal 90 de cada compuesto utilizado, así como, sus límites fiduciales y su ecuación de predicción.

Con el presente estudio se obtuvo una concentración baja efectiva a partir de la dosis de 250 *ppm*, causando un 17% de mortalidad; por otro lado, mostró una efectividad del 100% en la mortalidad de nematodos J2 con la concentración de 2000 *ppm*, contraste al producto comercial Abamectina, siendo la concentración de 15 000ppm la óptima para de 97.25% para el mayor control de nematodos.

Palabras clave: Tomate, Nematodos, *Meloidogyne spp.*, Abamectina, Extractos vegetales, Citronelol.

I. INTRODUCCIÓN

Hasta nuestros días, tomate (*Solanum lycopersicum*), ha sobresalido a nivel mundial en la horticultura por su calidad en el mercado internacional, formando una importante entrada de divisas por los países exportadores (León, 2005).

La producción de tomate a nivel mundial está estimada en 180 766 329 toneladas, centrándose principalmente en cinco países: China con 32.6% seguido de India con el 11.4%, Turquía 7%, Estados Unidos 6% y Egipto 4%, México se encuentra en el noveno lugar con un total de 2.3% (FAO, 2019). En el año 2020, México alcanzó en producción un total de 1,878,289 toneladas colocando a San Luis Potosí como el líder productor con 17.2%, consecutivo de Zacatecas con 10.8% y Michoacán 9.0%, quienes aportan una tercera parte del total nacional (SIAP,2020).

Sin embargo, el tomate se ve afectado por patógenos que generan enfermedades, disminuyendo la producción agrícola y económica. Los nematodos, son fitopatógenos que provocan grandes daños, principalmente el género *Meloidogyne spp* (*M. incognita*, *M. arenaria*, *M. javanica* y *M. hapla*) (Martínez *et al.*, 2019), responsable del 90% de los daños en tomate (*Solanum lycopersicum*) (Agrios, 1997). Galicia (2016), menciona 75 especies de este género.

En vista de innumerables pérdidas por plagas, el control químico a través del empleo de metam sodio (Vapam) y Oxamyl (Vydate) es uno de los más utilizados por los productores, debido a que es una solución inmediata para la recuperación y la rentabilidad del cultivo, sin embargo, a pesar de la alta efectividad de estos nematicidas, la mayoría con estos ingredientes han sido retirados del mercado por el impacto ambiental que generan (Morales, 2007). Desde hace doce años se propone adoptar nuevas tácticas y métodos amigables con el medio ambiente que integren un manejo integrado, por ejemplo, algunas prácticas culturales como, los barbechos, inundaciones y rotación de cultivos, reduciendo poblaciones de nematodos; control biológico con bacterias, nematodos depredadores, cultivos trampa y plantas antagónicas depredadoras de

nematodos (Agrios, 1985; Brown y Smart, 1985; Cepeda, 1996; Torres, 2013; Galicia, 2016).

Hasta la fecha el control biológico, no es eficiente ni rentable para disminuir las poblaciones de nematodos fitoparásitos en suelo o raíces (González *et al.*, 2009; Salazar *et al.*, 2012; Ríos *et al.*, 2021),

Recientes investigaciones han demostrado actividad biológica en algunos extractos de especies de plantas sobre el crecimiento de microorganismos patógenos (Ullauri, 2011; Ferreira *et al.*, 2005). Los extractos vegetales actúan como biocontroladores, debido a la presencia de metabolitos secundarios (MS) (Ducrot, 2005; Ullauri, 2011). Las plantas producen sustancias de bajo peso molecular conocidas como metabolitos secundarios. (Quevedo y Alferez, 2021). La obtención de metabolitos secundarios con actividad biológica son obtenidos por medio de extractos de plantas (Leyva *et al.*, 2017; Ochoa *et al.* 2019)

Justificación

El resultado de la residualidad ambiental ocasionada por el uso continuo de los nematicidas químicos en la etapa de producción, impulsa a buscar nuevas variables ecológicas para el control de los principales nematodos en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*); a través de un bioensayo evaluando extractos vegetales en *Meloidogyne incognita* de tomate.

Hipótesis

Al contar el extracto de citronelol con propiedades fitoquímicas, este influirá en la reducción de incremento en las poblaciones de nematodos.

Objetivos Generales

Evaluar *in vitro* el efecto del extracto de citronelol, en los nematodos de tomate (*Solanum lycopersicum*).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Cultivo del Tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Importancia del cultivo

La agricultura protegida en México en la producción hortícola ha sobresalido en los últimos años, con un aproximado de 51, 179 ha bajo esta estructura, mientras que 12, 694 ha corresponden a invernadero; entre los cultivos de gran importancia en agricultura protegida se encuentran: tomate, pimiento y pepino con 21%, 4% y 3% respectivamente (Pérez A, 2017). El incremento anual de la producción en los últimos años del tomate, se debe especialmente a un crecimiento en el rendimiento, contrario al aumento de la superficie cultivada (Herrera, 2017).

El consumo de tomate en fresco en el ámbito culinario mundial, ha sido de gran importancia debido a que contiene un alto valor nutricional en la dieta humana (Hernández-leal *et al.*, 2013).

De acuerdo con Dorais (2008), el tomate en fresco contiene entre 9-20 carotenoides: licopeno, vitamina C, β -caroteno y luteína; responsables de los atributos de calidad más importante como: frescura del tomate, textura y color rojo característico. El licopeno, el β -caroteno y la clorofila pertenecen al grupo de componentes que actúan durante los diferentes estadios de madurez (Liu *et al.*, 2009). Los carotenoides también conocidos como vitaminas «antioxidantes» (Luna-Guevara y Delgado-Alvarado, 2014) son pioneros en la prevención de enfermedades cancerígenas (Juroszek *et al.*, 2009) estimulación del sistema inmune, mejoradores en el metabolismo del colesterol, propiedades antivirales y antimicrobianas, entre otros (Ortega *et al.*, 2004). Waliszewski y Blasco (2010) mencionan que una ingesta de 30 mg diarios de licopeno es suficiente para evitar estas enfermedades (Roberto, 2021).

Producción

Producción mundial

El Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas con alta demanda para el mercado nacional e internacional (SIAP,2020), la producción a nivel mundial está estimada en 180 766 329 toneladas, centrándose principalmente en cinco países: China con 32.6% seguido de India con el 11.4%, Turquía 7%, Estados Unidos 6% y Egipto 4%, México se encuentra en el noveno lugar con un total de 2.3% (FAO, 2019).

Producción nacional

En el año 2020 México alcanzó volumen de producción de tomate en México alcanzó los 3,37 millones de toneladas métricas, siendo San Luis Potosí el líder productor con 17.2%, seguido de Zacatecas con 10.8% y Michoacán 9.0%, quienes aportan una tercera parte del total nacional (SIAP, 2020).

Actualmente México sigue obteniendo el primer lugar como exportador (Roberto, 2021).

Generalidades del cultivo de tomate

La palabra jitomate de deriva del náhuatl jictli: «ombligo» y tomatl: «tomate» el cual se define «tomate de ombligo» (Roque, 2019). En las regiones Norte y Sur de México no pertenecientes a la lengua náhuatl, es comúnmente llamado «tomate» (Torres, 2013).

En el año 1753, el botánico naturalista Carlos Linneo quien estableció las bases de la taxonomía moderna nombró al tomate como *Solanum lycopersicum* L. Sin embargo, en 1881, Philip Millar lo situó en el género *Lycopersicum* y lo nombró *Lycopersicum esculentum*, de esta manera fue utilizado considerablemente durante mucho tiempo.

No obstante, en 1987 el congreso Internacional de Botánica celebrado en Berlín reitera la denominación. La controversia sobre el nombre continua hasta nuestros días, resultante de la variación entre los géneros encontrados en la dehiscencia del polen en la antera de la flor (Peralta *et al.*, 2006).

Origen

Los tomates silvestres nativos son procedentes del Sur de América; específicamente de la región andina conformada por Perú, Bolivia, Ecuador y Chile (Foolad, 2007). En esta área están distribuidas diversas especies del género, y es en esta zona donde *Solanum lycopersicum* muestra su mayor variación (Nuez y Díez, 2008).

Los registros históricos sobre la domesticación del tomate está relacionada en el año 1523 (Moreno, 2010), en 1554 se dispersa en el continente europeo, y en 1596 es aceptada como fruto comestible debido a que a inicios del siglo XX era considerada una planta venenosa por el parentesco de sus frutos con las plantas mandrágora y la belladona (Rodríguez *et al.*, 2001). Se tiene registro que España e Italia fueron los primeros países en darle un valor comercial (Ruíz *et al.*, 2005). Hasta la fecha el tomate es considerado de gran importancia económica a nivel mundial (Jácome, 2018).

Taxonomía y descripción botánica

De acuerdo a ITIS (2011), la taxonomía del tomate es de la siguiente manera:

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Subdivisión: Spermatophytina

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *Solanum lycopersicum* L.

En cuanto a la descripción botánica del tomate:

De acuerdo a Jaramillo (2007), el tomate es una planta perenne, anual y de tipo arbustiva con un desarrollo de tipo rastrera, semierecta o erecta, el crecimiento de la especie va a depender en algunas variedades que son determinadas e ilimitado en las indeterminadas.

Raíz: el sistema radicular consta de una raíz pivotante de gran profundidad con numerosas raíces secundarias y raíces adventicias encargadas de la absorción del agua y nutrientes (Ausay, 2015).

Tallo: el tallo es pubescente, un poco erguido o inclinado con apariencia trepadora, en su altura puede variar de 1 m hasta más, se ramifica en su crecimiento, donde surgen tallos secundarios en la parte axilar de las hojas (Ausay, 2015).

Hojas: Las hojas son alternas e imparipinnadas de diferentes tamaños que a su vez pueden estar divididas principalmente en la base, de ápice puntiagudo y con el margen aserrado a ligeramente hendido, igualmente están cubiertas con pelos glandulares (Ausay, 2015).

Flores: La flor es perfecta, consta de cinco o más pétalos, la floración es en forma de racimos simples o ramificados, conteniendo en la mayoría de cultivares entre 3 y 10 flores de color amarillo brillante que se desarrollan en el tallo normalmente en el lado opuesto de las hojas (Ausay, 2015; Jaramillo *et al.*, 2007).

Fruto: El fruto es una baya globosa o periforme, liso o acostillado unida al pedúnculo, que al llegar a la maduración se torna de color rojizo. El diámetro de los frutos es entre 2 y 16 cm. En el interior del fruto se encuentran las semillas de forma globular u ovalada y con vellosidades (Ausay, 2015).

Etapas fenológicas

Bolaños (1998) describe las etapas fenológicas del tomate como los eventos que forman el ciclo de vida del cultivo, donde por medio de diferentes parámetros se puede medir el crecimiento de la planta o alguna etapa en específico para la realización de un estudio determinado, su duración, así como la sincronización con otros eventos, donde se pueden encontrar tres etapas importantes, de tal

modo que su identificación es de gran importancia para facilitar un manejo cultural oportuno.

Fase inicial: Inicia con la germinación, aquí las semillas necesitan de oscuridad y una temperatura intermedia entre 15-25°C, por debajo de estos parámetros la germinación es reducida o nula; si el agua, la temperatura y los nutrientes están disponibles en buena proporción habrá una buena respuesta en el crecimiento de las plantas (Bolaños, 1998).

Fase de desarrollo: En esta etapa los requerimientos de agua, luz y temperatura son similares a la inicial, sin embargo, es preciso una mayor cantidad de nutrientes para lograr completar las necesidades de las hojas y tallos que están en crecimiento; esta fase es finalizada con la floración (Bolaños, 1998).

Fase reproductiva: Esta fase inicia con la fructificación, se reconoce porque el crecimiento de la planta es interrumpido debido a que los frutos son los que absorben los nutrientes suficientes para su crecimiento y madurez. Es indispensable una temperatura nocturna menor para obtener una maduración uniforme y buena producción de frutos, aproximadamente en un rango de 13°C a 26°C (Bolaños, 1998).

Requerimientos edafo-climáticos

Temperatura

El tomate es un cultivo con la capacidad de crecer y desarrollarse en condiciones climáticas variadas. Sin embargo, la temperatura tiene gran influencia en las diferentes etapas fisiológicas y de desarrollo, para un buen crecimiento se requiere estar entre 21 y 27° C, y para el cuajado de frutos durante el día entre 23 y 26° C, y durante la noche alrededor de 14 y 17° C (Ausay, 2015; Jaramillo *et al.*, 2007).

Humedad

La humedad relativa ideal para el desarrollo del cultivo de tomate se encuentra entre 65 y 75% para el óptimo crecimiento y fertilidad (Jaramillo *et al.*, 2007).

Luz

Es necesario de días soleados en este cultivo para un desarrollo óptimo de la planta y coloración uniforme en el fruto; una luminosidad baja afectará los procesos de floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta, así como la reducción en la absorción de agua y nutrientes (Jaramillo *et al.*, 2007).

Suelo

Los suelos preferentes para el crecimiento del tomate son suelos con un buen drenaje, fértiles, bien aireados y con alta capacidad de retención de humedad, de textura franco-arcillosas y ricos en materia orgánica, por encima del 5%. De manera que puede desarrollarse perfectamente en suelos arcillo-arenosos (Jaramillo *et al.*, 2007). En relación con el pH los suelos pueden ser ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos 5.8– 6.8; es una de las pocas especies cultivadas en invernadero que mejor resiste los ambientes de salinidad en el suelo como en el agua de riego (Guzmán y Sánchez, 2000).

Manejo de la planta

Entutorado

El tutoreo es una práctica que se realiza para guiar de manera vertical las plantas a lo largo de una cuerda, provocando un crecimiento vertical con la finalidad de evitar que las hojas y los frutos principalmente, estén en contacto con el suelo, facilita las labores del cultivo como disminución a los daños mecánicos de la planta ocasionado por el peso de los frutos o durante las prácticas culturales, obtención de mejor calidad de frutos, una mejor aireación en la planta, así como un fácil control fitosanitario y cosecha (Ausay, 2015; Jaramillo *et al.*, 2007).

Poda

Las hojas, además de proporcionar nutrientes al fruto, en épocas de altas temperaturas brindan sombra a los frutos y previenen el golpe de sol, mientras que en la época de invierno las hojas protegen el fruto del enfriamiento, debido a que actúan como una barrera para el escape del calor acumulado en el fruto hacia la atmósfera del invernadero, es conveniente la labor de poda ya que estas ayudan al incremento del tamaño del fruto aunque disminuye el total producido;

aumentar la aireación en las plantas aunque también las posibilidades de golpe de sol, y facilitar las otras prácticas (Ausay, 2015).

Polinización

Es de gran importancia una polinización adecuada en el tomate, ya que una mala polinización incrementa la dificultad del cuajado de los frutos, originada por una baja o excesiva humedad relativa, temperaturas extremas, iluminación insuficiente, así como una polinización deficiente. Por lo tanto, cuando existan bajas temperaturas, es fundamental el uso de métodos exhaustivos para favorecer la polinización (Jaramillo *et al.*, 2007).

Problemas fitosanitarios del tomate

Principales enfermedades

Es necesario que para que una enfermedad se desarrolle el ambiente donde se encuentra tenga las condiciones adecuadas, así como un huésped susceptible y un patógeno virulento, de tal forma que la interacción del huésped, patógeno y ambiente tenga como resultado un daño del huésped (Martínez *et al.*, 2016).

Los patógenos tienen vectores que generan gran impacto en el desarrollo y programación de las enfermedades, primordialmente en las enfermedades víricas y marchitamientos bacterianos (Flores *et al.*, 2009). Existen agentes de enfermedades que destacan como factores bióticos en *Solanum lycopersicum*, como lo son: bacterias, virus, viroides, fitoplasmas, nematodos, insectos y hongos.

Con base a Rueda *et al.*, (2009; 2013) las enfermedades que perjudican a las plantas obstruyen a uno o varias de las cinco etapas básicas: 1) absorción y transporte de agua y nutrimentos; 2) fotosíntesis y metabolismo; 3) transporte de fotosintatos; 4) desarrollo de frutos y 5) madurez y senescencia de tejidos.

El complejo de enfermedades "Damping off" del suelo que actúan sobre los haces vasculares, los síntomas más comunes asociados a este complejo, es la necrosis; estos microorganismos patógenos provocan en las plantas marchitez, así como pudrición en raíces y tallos, entre las principales enfermedades se

encuentran: *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* y *Pythium aphanidermatum* (Flores *et al.*, 2008).

Fusarium oxysporum

(Asha *et al.*, 2011; Srinivas *et al.*, 2019) reportaron al hongo *Fusarium oxysporum* como una enfermedad que causa marchitez vascular y reduce el rendimiento a un 60%.

Síntomas

Los síntomas de marchitez incluyen amarillamiento y marchitamiento del follaje dañando un solo lado de la mata, la marchitez se extiende ampliamente de forma gradual hasta que finalmente muere, un corte transversal en el tallo denota un oscurecimiento en los vasos (Srinivas *et al.*, 2019).

Ciclo de vida

La existencia de *Fusarium oxysporum* en suelos contaminados puede durar de manera indeterminada, de modo que para implantarse en la planta es por medio de heridas en las raíces, las condiciones de temperaturas por encima de 28°C favorecen la proliferación (Araujo *et al.*, 2008; Debbi *et al.*, 2018).

Rhizoctonia solani

Síntomas

La infestación por *R. solani* se caracteriza por la aparición de lesiones de color marrón claro en plántulas y semillas; el hongo ataca el tallo desde la parte basal, ocasionando pudriciones blandas y pudrición de las raíces, hasta muerte final (Solanki *et al.*, 2012; Martínez *et al.*; 2016).

Ciclo de vida

Para el desarrollo de *R. solani* es necesaria una temperatura óptima entre 25-30 °C con un mínimo de 8 °C y un máximo de 31-35 °C. Se necesita de una temperatura de 18°C para el ataque del patógeno en el suelo; *Rhizoctonia solani* se propaga por medio del agua, ya sea por la lluvia o el riego, también por medio

de los órganos de propagación infectados (Mendoza, 1996; Díaz, 2002; Martínez *et al.*; 2016).

Pythium aphanidermatum

Las plantas de tomate son las más vulnerables a la infección por *P. aphanidermatum*, esta enfermedad es particularmente grave durante la germinación y etapas jóvenes, principalmente infecta las raíces de plántulas o puntas de raíces de plantas más viejas (Hendrix y Campbell 1973), e inhibe el crecimiento de las plantas (Fukuta *et al.*, 2013).

Síntomas

Se relacionan algunas lesiones castaño oscuras o negras y acuosas en las raíces las cuales se extiende de forma vertical en el tallo, alcanzando rápidamente toda la plántula, (Smith *et al.*, 2003; Martínez *et al.*, 2016).

Sin embargo, el diagnóstico de *Pythium* en el campo es un desafío debido a las similitudes con los síntomas de otras enfermedades de las plántulas (Schroeder *et al.*, 2006; Fukuta *et al.*, 2013).

Ciclo de vida

Este hongo cuenta con una facilidad de propagarse a elevadas temperaturas el invernadero (Fukuta *et al.*, 2013). Las oosporas de *Pythium sp.* sobreviven en el suelo durante mucho tiempo, ya que funcionan como un inóculo de fuente primaria (Stanghellini y Nigh, 1972). Dado que *P.aphanidermatum* es un patógeno transmitido por el suelo, su control es muy difícil (Al-Hussini *et al.*, 2019).

Cenicilla (*Leveillula taurica*)

La cenicilla es favorecida por épocas calurosas y baja humedad relativa.

Síntomas

Se presentan en tallos, pecíolos y las hojas más viejas. En el haz de las hojas se observan puntos o manchas circulares con crecimiento superficial de aspecto blanquecino, que van colonizando diferentes partes y tornando la hoja clorótica.

El hongo puede causar clorosis superficial en el haz, y por el envés se observa un leve crecimiento blanquecino (Jaramillo *et al.*, 2007).

Plagas

Las plagas son una de las principales limitaciones en la agricultura, las pérdidas en la producción del tomate se ven reducidas en gran medida durante las etapas de crecimiento, entre las más importantes se encuentran: Mosca blanca (*Bemisia tabaci*), Paratrioza (*Paratrioza cockerelli*), Araña roja (*Tetranychus urticae*, *Tetranychus cinnabarinus*), Trips (*Frankliniella occidentalis*), Nematodos (*Meloidogyne incognita*), la elevada presencia de estas es causante de uno de los más importantes vectores para la propagación de enfermedades. La mayoría de estas plagas fueron introducidas y el periodo de su introducción va más allá de los 100 años, la probabilidad por pérdidas de plagas va en aumento en los años próximos para poder satisfacer la demanda de alimentos de una población en crecimiento (Abate *et al.*, 2000; Jaramillo *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2016; Retta y Berhe, 2015).

Nematodos

Historia y Antecedentes de *Meloidogyne*

Uno de los primeros antecedentes registrados del Género *Meloidogyne*, se realizó en 1855 por Berkeley, quien observó un nematodo que causaba nudos de la raíz del pepino en invernaderos de Inglaterra, en 1877 en la provincia de Río de Janeiro, Brasil; Jobert al observar arboles de cafeto enfermos encontró raíces fibrosas con numerosas agallas. Para 1887, Göeldi investigó el mismo problema y publicó un documento señalando al nematodo del nódulo de la raíz *Meloidogyne exigua* como responsable de esta.

Especies fitopatógenas

En 1888, Mai reporta en los Estados Unidos de América el primer género fitoparásito de los nematodos noduladores de raíces *Meloidogyne spp.* Del mismo modo Aktinson y Neal en 1889, publican independientemente los resultados de sus investigaciones sobre estos mismos. En 1949, Chitwood describió las cuatro

especies más comunes y ampliamente distribuidas: *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* y *M. hapla*; con un 47, 40, 7 y 6 %, respectivamente (Taylor y Sasser, 1983; Brodie, 1984 y Van Gundy, 1985).

El Género *Meloidogyne*, conforma varias especies importantes para la agricultura. Algunas de sus especies son cosmopolitas, parasitan cualquier tipo de cultivo por sus hábitos polífagos, donde se encuentran gramíneas, hortalizas, frutales, ornamentales y forestales, provocando pérdidas desmedidas en la producción. Además de ocasionar daños directos, estos fito-parásitos inducen a las plantas a la infección por otros fito-patógenos como bacterias, hongos y virus (Agris, 1998). Actualmente se encuentran registradas 26,646 especies de nematodos con importancia agrícola (Armendaris *et al.*, 2015); J. Salazar *et al.*, 2012).

Taxonomía

Las especies de *Meloidogyne* conforman una pequeña parte del Phylum Nematoda o Nematoda, el cual incluye parásitos del hombre y de los animales, parásitos de plantas, y especies que son terrestres o acuáticas.

Cepeda (1996) reportó la siguiente clasificación taxonómica:

Phylum: Nematoda

Clase: Secernentea

Subclase: Diaplogasteria

Orden: Tylenchida

Suborden: Tylenchina

Superfamilia: Tylenchoidea

Familia: Heteroderidae

Subfamilia: Meloidogyninae

Género: *Meloidogyne*

Descripción de las características morfológicas distintivas de las especies de *Meloidogyne*

Los adultos del género *Meloidogyne* presentan dimorfismo sexual; con una cutícula finamente estriada que adopta un patrón característico en la región perineal el cual permite diferenciar a las especies. El cuerpo de las hembras se torna periforme cuando se engrosa, la parte extrema es globosa y el cuello es proyectado en línea con la parte terminal de la cola; se componen de masas de huevos que sobresalen de la agalla, sus modelos perianales muestran un arco dorsal alto formado por estriaciones similares a las de una huella dactilar, el cono del estilete es afilado y curvado de manera dorsal, los nódulos que lo conforman son amplios y llanos, que se separan a partir de la columna con proyecciones hacia la parte anterior, en algunos ejemplares de forma tan evidente que cada nódulo aparenta tener dos. El macho es filiforme, considerado como ecto y endoparásito migratorio, la punta del estilete es roma y aplanada lateralmente, presenta una cabeza muy característica, un disco labial grande, redondeado y cóncavo que sobresale de los labios medios, la columna habitualmente cilíndrica y ligeramente angosta de los nódulos del estilete.

En los juveniles de segundo estadio (J2) de *M. incógnita* el disco labial y los labios medios se muestran fusionados, y forman una estructura continua y elongada muy característica cuando es observada en posición frontal, la región anterior de la cabeza es aplanada y la estructura cefálica puede ser lisa o bien tener de 1 a 3 anulaciones completas o incompletas. El disco labial que lo compone es pequeño y redondeado sutilmente más pronunciado que los labios medios (Esser *et al.*, 1976; Eisenback, 1981; Eisenback, 1985; Hartman y Sasser, 1985; Cinco, 2001).

Hospedantes

Meloidogyne incógnita es un nematodo nodulador polífago, y sus hospedantes oscilan a más de 3,000 especies de plantas (UCD, 2007). Aproximadamente una gran cantidad de todas las familias vegetales entre las que se encuentran hortalizas, frutales, ornamentales y otras, que son las que comprenden como hospederos de *M. incógnita*.

Respecto a los cultivos de alto grado económico, atacados por este patógeno en México se encuentran: aguacate, alfalfa, algodón, amaranto, cacahuate, calabaza, cafeto, cebolla, chile, col, durazno, fresa, frijol, garbanzo, guayaba, maíz, manzano, melón, plátano, papa, papaya, quelite, sandía, tabaco, tomate y vid, entre otros (Cepeda, 1996).

El desarrollo y reproducción acelerada de este género en aptos hospedantes resultan en un alto número de generaciones en cada temporada de cultivo, conocimientos a tener en cuenta en el manejo de las plantaciones (Hernández *et al.*, 2012).

Interacción hospedero – parásito

Una vez introducidos los nematodos en la planta infectada, se alimentan a partir de células modificadas, llamadas células gigantes, las cuales son producto de secreciones generadas por nematodos al penetrar la raíz con su estilete; en consecuencia, se derivan varios síntomas tanto aéreos como en el sistema radicular. Algunas causas como: la especie del nematodo, la planta hospedante y los niveles de población, intervienen en la reproducción y un apto desarrollo de estos, ocasionando en cada temporada del cultivo un sin fin de generaciones (Hernández *et al.*, 2012).

Ciclo de vida

Las etapas de desarrollo de *Meloidogyne spp.* comprende: huevo, cuatro estadios juveniles y el adulto. El tiempo de estos estadios dependerá con cada especie, así como la temperatura del ambiente, humedad y la planta hospedante. El estudio del ciclo de vida de estos nematodos y de su potencial reproductivo en buenos hospedantes bajo determinados parámetros ambientales, ofrece elementos para su manejo en campo. En un experimento realizado por Hernández (2012), reportaron una inoculación en plantas de tomate con juveniles (J2) de *M. incógnita*, para un estudio del ciclo de vida de este nematodo, los resultados obtenidos consistieron que desde el día 6 al 14 se identificaron nematodos juveniles 2 (J2), en el día 15 hasta el 20 la identificación de juveniles (J3) y del día 21 al 23 se reconocieron juveniles (J4), posteriormente

del día 23 se obtuvieron hembras adultas que mostraban una matriz gelatinosa con huevecillos maduros, y a partir del día 28, las hembras en su mayoría contabilizadas contenían masas con huevecillos (Khan *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2012; Ríos *et al.*, 2021).

Ecología

Los nematodos de los nódulos pertenecen a los organismos poiquilotérmicos, por consiguiente, la temperatura no solo interviene en su supervivencia en el suelo entre los cultivos, sino también en la migración, penetración de raíces, desarrollo posterior a la infección, producción de huevos y embriogénesis. Así mismo, la duración del ciclo de vida y las tasas de desarrollo difieren entre las especies de *Meloidogyne*.

Los estudios existentes sobre los requerimientos de tiempo térmico que *Meloidogyne spp.* necesita, son de gran importancia para la estimación del tiempo de generación y para la programación de fechas de siembra o cosechas finales, adicionalmente puede ayudar a retrasar la inoculación de raíces o disminuir las generaciones de nematodos y, por último, reducir el daño a las plantas y el inóculo remanente para el cultivo siguiente. (Tyler, 1933; Hooker, 1980; López *et al.*, 2014).

Síntomas causados por *Meloidogyne*

Las primeras indicaciones de una infección por nematodos agalladores en campo, son los conocidos manchones por la aparición de clorosis aún con una correcta nutrición, entre otros síntomas se pueden destacar: marchitamiento en hojas; reducción del crecimiento y del rendimiento de la planta. Por otro lado, la sintomatología en raíces se presenta por una adhesión de partículas de suelo en las zonas donde se aloja la hembra adulta, presencia de necrosis de forma externa e interna, formación de agallas por multiplicación y aumento del tamaño de las células y dispersión de raíces por retención de nutrientes (Suárez *et al.*, 1995; Avelar *et al.*, 2001; Gallegos *et al.*, 2009).

Manejo Integrado

Control cultural

Existen prácticas culturales que son una alternativa íntegra, para el desarrollo de una forma de producción mucho menos dependiente de los productos químicos.

Unas de las prácticas más sencillas de uso común, son el descanso de la tierra y la rotación de cultivos, aunque suelen ser inefectivas, debido a que existen especies como *Helicolylenchus* y *Meloidogyne* difíciles de erradicar, así como el tiempo indeterminable para que sea funcional. Se han obtenido excelentes resultados a partir de 10 a 12 meses, utilizando la inundación para reducción de las poblaciones de nematodos. Por otro lado, la solarización también es una de las prácticas útiles para el saneamiento del terreno, calentando el suelo a temperaturas superiores a los 47°C ocasionando la muerte de estos patógenos (Gowen y Quénéhervé, 1990; Sarah, 1998).

Control biológico

El control biológico de nematodos es una de las mejores alternativas para incrementar los rendimientos (Soto, 2014). De la misma manera, González y García (2012), mencionan que las ventajas de la aplicación con un control natural contra plagas, es que en general son inocuos, menos tóxicos, favorecen la disminución del uso de químicos, son efectivos en pequeñas cantidades, y habitualmente afectan solo a la plaga objetivo.

La aplicación de control biológico está integrada por organismos como bacterias (Brown y Smart, 1985), nematodos depredadores (Taylor y Sasser, 1983) y hongos (Jatala *et al.*, 1992), y variedades resistentes a *M. incognita*.

Bacterias

En experimentos realizados in vitro mostraron que compuestos nematotoxicos volátiles producidas por la actividad de *Pasteuria penetrans*, *Bacillus cereus* y *Bacillus subtilis*, *Serratia marcescens*, *B. cereus Frankland* y *Micrococcus luteus*, entre otras rizobacterias intervinieron en la inactivación y muerte del segundo

estadio juvenil de *M. incognita* (Zavaleta y Van Gundy, 1985; Gallegos *et al.*, 2009).

Nematodos depredadores

Estudios *in vitro* con especies de nematodos depredadores de *Mononchus spp.*, *Mononchoides spp.*, *Butleria spp.*, *Anathonchus spp.*, *Diplogaster spp.* y *Discolimus spp.*, muestran un equilibrio en la población de especies, principalmente en larvas de varios estadios de *Meloidogyne spp.* (Taylor y Sasser, 1983).

Hongos antagónicos

Actualmente se utilizan hongos antagónicos para reducir las poblaciones de nematodos, entre los más estudiados con el género *Meloidogyne* se localizan: *Verticillium chlamyosporium*, *Paecilomyces lilacinus*, *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*, *Arthobotrys spp.*, *Candelabrella musiformis*, *Dactylaria candida*, *Dactylaria oviparasa*, *Haptoglossa heterospora* (Jaramillo *et al.*, 2007).

Control químico

Se conoce que el uso intensivo de plaguicidas genera inconvenientes, en los que incluyen la contaminación del suelo y las aguas subterráneas, la interrupción del control biológico natural y los procesos de polinización, la toxicidad en los mamíferos y el desarrollo de resistencia a las plagas (Umpiérrez *et al.*, 2012). A pesar de eso, la aplicación de productos químicos es uno de los más utilizados por los productores, debido a que suelen ser una solución más rápida para recuperación y la rentabilidad del cultivo; hasta la fecha el control biológico, no es eficiente ni rentable para disminuir las poblaciones de nematodos fitoparásitos en suelo o raíces (González *et al.*, 2009; Salazar *et al.*, 2012; Ríos *et al.*, 2021).

Entre los nematicidas químicos existen dos grupos que hasta nuestros días siguen siendo el método más ampliamente utilizado: los fumigantes y no fumigantes. Los fumigantes son productos volátiles en los que se incluyen el D-D (Dicloro propeno) y 1-3-D (1-3-Dicloropropeno), aparte de algunos plaguicidas

de uso general como: bromuro de metilo, cloropicrina y metil-isocianato. Los no fumigantes se identifican por ser productos no volátiles como fenamifos, oxamilo, aldicarb y carbofuran, (Damian, 2016; Navarro, 2016).

El costo, la residualidad y fitotoxicidad de los nematicidas para los cultivos, limitan su aplicación, por lo que es necesario nuevas investigaciones para combatir nematodos, causantes de inmensas pérdidas en los cultivos (Hernández *et al.*, 2015).

Abamectina

Abamectina es el nombre común de las avermectinas, compuestas del aislamiento de la fermentación de *Streptomyces avermitilis* con agentes insecticidas, acaricidas y nematicidas. El modo de acción de las avermectinas, es a través del bloqueo del neurotransmisor (GABA) en la unión neuromuscular de insectos y ácaros. La actividad visible, tal como alimentarse o poner huevos, se interrumpe posteriormente a la exposición, aunque la muerte puede no sobrevenir durante varios días (Ware y Whitacre, 2004).

Las avermectinas son lactones macrocíclicos, metabolitos que son utilizados para tratar parásitos intestinales en animales domésticos, suprimir nematodos parásitos de plantas en algunas hortalizas, y como acaricidas (Galicía, 2016).

La Abamectina como nematicida es un método efectivo, en el tratamiento de semilla, es activa contra el *Meloidogyne incognita*, así como también mejora el desarrollo de plantas en suelos infestados.

Un estudio realizado en tomate por Jayakumar (2003), para el manejo de *Meloidogyne incognita* en condiciones de invernadero en la India, muestra un incremento significativo mediante el uso de Avermectina al 75% mediante inmersión de plántulas, obteniendo un crecimiento en longitud de raíz, un máximo de longitud de ramas, peso fresco de ramas y rendimiento de fruto. La abamectina es de rápida degradación y su vida media es de 20 a 47 días (Jayakumar *et al.*, 2003; Barham *et al.*, 2005; Chen *et al.*, 2006; Galicía, 2016).

Dado que el retiro de los nematicidas en el mercado ha ido al alza por los riesgos en su manejo y daños al ecosistema, promueven la búsqueda de nuevas

alternativas de control (Curto *et al.*, 2005), como la aplicación de reguladores del crecimiento de insectos, aceites esenciales (Baldin *et al.*, 2015), extractos, y metabolitos secundarios con efecto nematocida (Cepeda *et al.*, 2020; Mareggiani *et al.*, 2010)

Descripción de los Extractos Vegetales

Los extractos vegetales se obtienen de plantas aromáticas, ubicadas generalmente en países del mediterráneo y el trópico, pioneros en la medicina tradicional (Bakkali *et al.*, 2008). son biodegradables, no afectan en la salud humana (Bravo *et al.*, 2000), de consistencia líquida, volátiles, y raramente coloreados.

Los compuestos químicos se forman con base en todos los órganos de la planta, tales como flores, hojas, tallos, semillas, frutos, raíces; se almacenan en particular en células secretoras, células epidérmicas o tricomas (Bakkali *et al.*, 2008). Para su obtención en algunos casos se macera la parte seleccionada, pero con más frecuencia se usa la cocción o la infusión, al que se añade generalmente alcohol como agente extractor y perseverante (Chávez, 2008).

Importancia

Los metabolitos secundarios llamados aceites esenciales de origen vegetal, son los responsables del olor, aroma y sabor característico, de una gran diversidad de plantas aromáticas de familias botánicas (Lamiaceae, Mirtaceae, Rutaceae y otras).

Resultado de estos compuestos orgánicos, promueven el equilibrio ecológico y una baja residualidad (Chitwood, 2002).

En busca de nuevas alternativas, se han realizado investigaciones en distintas plantas que contienen fitoquímicos tóxicos para los nematodos como: alcaloides, fenoles, flavonoides, taninos, terpenos, lectinas, y aceites esenciales (Cowan, 1999; Salazar y Guzmán, 2013). Sus mecanismos de acción son variables; sin embargo, el modo de acción de los terpenos y aceites esenciales aún no ha sido

estudiado por completo, pero se considera que provocan rompimiento en la membrana, por medio de los compuestos lipofílicos (Hernández *et al.*, 2007).

En la actualidad se conocen tres mil aceites esenciales, entre los cuales, trescientos contienen componentes de importancia en la industria farmacéutica, alimentaria, agronómica, y cosmética (Bakkali *et al.*, 2008). Vinculado a esto, se reportan efectos biológicos de interés sobre organismos vivos, en concreto, nematodos de *M. incognita* (Cristóbal Alejo *et al.*, 2006; Förster y Jendrosseck, 2010).

Antecedentes de Citronelol

Se sabe que muchos compuestos terpenoides tienen diversas e importantes actividades biológicas en los organismos, como repelentes contra insectos (citronelol) o incluso tienen actividad antitumoral en células de mamíferos. Contienen a su vez, propiedades biológicas, por ejemplo, actividades antimicrobianas, antifúngicas, antivirales, antiinflamatorias y antiparasitarias (Hammer *et al.*, 1999; Paduch *et al.*, 2007; Bakkali *et al.*, 2008). Por el contrario, existe escasa información acerca del destino metabólico de los compuestos acíclicos en los organismos vivos, excepto la vía catabólica del citronelol y los monoterpenos acíclicos relacionados por algunas especies bacterianas del género *Pseudomonas* (Förster y Jendrosseck, 2010).

Compuestos fitoquímicos del citronelol

Cymbopogon es una planta aromática de la familia Poaceae, que proporciona aceites esenciales por destilación al vapor. Existen diferentes variedades de *Cymbopogon*, *Mentha*, *Pelargonium* y *Eucalyptus*, que poseen componentes volátiles fitotóxicos en una exposición directa de nematodos J2 o huevos de *M. incognita* (Chitwood, 2002; Ntalli *et al.*, 2010).

El aceite esencial de *C. winterianus* es rico en alcoholes monoterpenos como citronelal, geraniol, nerol y citronelol (Wany *et al.*, 2014). Algunos terpenos como

el citrionelol tienen efectos nematocidas sobre *M. incognita* por su grupo hidroxilo, la razón por la que tóxico para estos patógenos fitoparásitos (Abdel-Rahman *et al.*, 2013). Los fitoquímicos tienen convertirse en los controles alternativos, a través del uso directo de formulaciones nematocidas para la evolución de derivados semisintéticos (Chitwood, 2002).

Acción bioquímica del citrionelol en los nematodos

El glutatión reducido (GSH) es un tripéptido que se encuentra dentro del eritrocito, y su función principal es proteger a la célula contra la acción de agentes oxidantes endógenos y exógenos, por otro lado, las glutatión S transferasas (GSTs) son una gran familia de enzimas diméricas multifuncionales involucradas en la metabolización de una amplia variedad de xenobióticos y compuestos endógenos reactivos. La maquinaria completa de sistema de glutatión (GSH) como GST (glutatión-Stransferase(s)) y GSHPx (glutatión peroxidasas) son los principales sistemas de defensa de los nematodos. El mecanismo de acción de GST(s) (E.C.2.5.1.18), enzimas incluye defensa contra ataque oxidativo a través de la conjugación de electrófilos a glutatión y reducción de hidroperóxidos lipídicos.

Los compuestos que resultaron ser inhibidores bastante efectivos de GST *in silico* habían sido validados por métodos alternativos tales como ensayos de GST *in vitro* y experimentos de bioensayos *in vitro*.

Los fitoquímicos como: β -cariofileno, capsaicina, ácido cinámico, citrionelol, curcumina, eugenol, geraniol, entre otros nueve compuestos demostraron inhibición en la enzima GST aislada de *Meloidogyne incognita*, *in vitro*. Por lo tanto estos compuestos beta pueden ser considerados para nuevos nematocidas compuestos a través de la inhibición de la enzima GST (Babu *et al.*, 2012).

Casos de Estudio con citrionelol

Entre los estudios realizados para evaluar la actividad nematocida en *M. incognita* con metabolitos secundarios de citrionelol, se encuentran los reportados Echeverrigaray *et al.* (2010) quienes a través de la concentración de citrionelol a

250 mg/L, aplicado a huevos de *M. incognita* y J2; redujeron la eclosión y la movilidad de los J2. A su vez Moreira *et al.* (2015) obtuvieron un control del 67% de *M. incognita* en un estudio de plantas de tomate con citronela. Mientras que Ochoa (2019), en un estudio con β -citronelol destacaron una mortalidad de 87.90%, así como valores bajos de CL50 y CL95.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación experimental

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de toxicología, ubicado en el Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro localizado en la colonia Buenavista, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

Obtención de la muestra

Los nematodos fueron obtenidos de suelo de cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) procedente del estado de Sinaloa, las raíces de las plantas de tomate mostraron agallas las cuales presentaban sintomatología ocasionada por nematodos del género *Meloidogyne spp.*

Extracción de nematodos

Método de centrifugación

Se recolectaron 200 a 500 g de suelo; se tomaron 2 muestras de raíz, las muestras fueron procesadas juntas. La técnica utilizada de extracción de nematodos filiformes, fue la de tamizado y fluctuación por medio de centrífuga con solución de sacarosa (Jenkins, 1964). En donde en una cubeta se depositaron 6 litros de agua y 400 g del suelo, posteriormente se agitó para que los terrones de pudieran romper, se dejó en reposo alrededor de un minuto; la mezcla que se obtuvo se colocó en otra cubeta a través de un tamiz de 50 mallas por pulgada cuadrada (A1), con la finalidad de pasar toda el agua, nuevamente se agitó y dejó en reposo. Enseguida se pasó toda la mezcla a otro recipiente a través del tamiz de 100 (A2); se agitó y se dejó reposar. Pasamos la mezcla a otra cubeta por el tamiz de 400 (A3); una ligera parte de la mezcla se quedó en este tamiz. De la muestra que quedó en el tamiz de 400 se pasó una porción a cinco tubos de la centrífuga (A4), la cual tiene una capacidad para diez tubos; los tubos se acomodaron de forma opuesta para que de esta forma la centrífuga estuviera balanceada, los tubos fueron llenados al mismo nivel (suelo más agua). Los tubos se centrifugaron por un espacio de 2 minutos, a 5000 rpm. Se

extrajeron los tubos de la centrifuga y se desechó el sobrenadante (A5), en el fondo del tubo quedó la muestra con los nematodos y una porción de suelo. Se preparó el agua azucarada 450 gramos en 1 litro de agua. El objetivo fue que los nematodos se adhirieran, esta mezcla se vació en los tubos de la centrífuga; se agitaron el suelo con el agua azucarada de forma manual (A6). Los tubos se colocaron nuevamente en la centrífuga alrededor de 2 minutos a aproximadamente 5000 rpm. Por último, se sacaron los tubos de la centrífuga, los nematodos se quedaron en el agua azucarada, se pasaron a través del tamiz de 400, pasándose a través de un embudo; sus paredes se lavaron con una pizeta con agua destilada (A7) y los nematodos se colocaron en tubos eppendorf (A8). Posteriormente se pasó a un vidrio de reloj para poder verificar la existencia de nematodos (A9). La muestra del tubo de ensayo se pasó al refrigerador y se observó al microscopio durante los días siguientes.

Identificación de nematodos

Las muestras de raíz con sintomatología de *Meloidogyne incógnita* fueron identificadas con ayuda de las claves Eisenback (1981). Entre las principales particularidades de esta especie se encuentra: la morfología del modelo perineal, la morfología de la cabeza de hembras, machos, y juveniles del segundo estadio, así como la morfología del estilete de hembras y machos (Eisenback *et al*; 1981). En donde la identificación de especies de *Meloidogyne* está basada principalmente en la morfología de las hembras adultas.

Ventana de efectividad biológica

Se elaboró una ventana biológica del extracto citronelol, la cual consistió en la evaluación del extracto de 100 a 3000 ppm para identificar el rango potencial de dosificación.

El bioensayo se realizó sobre nematodos J2, debido a que en este estadio son de gran importancia infectiva en el cultivo.

La ventana se realizó con apoyo de la metodología de Cristóbal-Alejo *et al.* (2006) en un ambiente controlado (23 ± 1 °C, 50 % HR, 12 horas luz y 12

oscuridad). Se evaluó la actividad biológica de este compuesto, en donde como unidad experimental se utilizaron tubos de eppendorf con 50 juveniles (J2) de *Meloidogyne incognita*, en el ensayo se contó la cantidad de nematodos bajo el microscopio después de las 24 h.

Se tomaron en cuenta como nematodos muertos, a aquellos que continuaban inmóviles a causa del estímulo por medio de una aguja. El rango de dosificación estuvo reflejado a partir de 250 a 2000 ppm.

Para la corrección de mortalidad se llevó mediante la fórmula de Abbott (1925) y con los resultados obtenidos un diseño completamente al azar y con una prueba de Tukey $\alpha = 0.05$ utilizando el paquete de análisis estadístico SPSS.

Bioensayo de porcentaje de mortalidad

Bioensayo con citronelol

Se realizó un bioensayo con citronelol por inmersión mediante tubos eppendorf con 50 individuos J2 de *M. incognita* cada uno, y dosis de: 2000, 1750, 1500, 1250, 1000, 750, 500 y 250 partes por millón; el testigo absoluto consistió en agua destilada como disolvente.

Después de las 24 horas. se contó la cantidad de nematodos vivos para obtener la mortalidad y no mortalidad bajo un microscopio estereoscópico, los nematodos muertos se consideraron sino respondían al contacto de un estímulo con una aguja.

Todos los experimentos se realizaron en condiciones de laboratorio, a $26 \pm 2^\circ\text{C}$, utilizando un diseño completamente al azar.

Bioensayo con Abamectina

Se realizó un segundo bioensayo con Abamectina, para comparar el efecto que tiene el producto sobre *M. incognita*, y de esta manera ver su eficiencia con el del extracto.

El bioensayo de inmersión consistió en la utilización de tubos eppendorft con 50 individuos J2 de *M. incognita* cada uno con ocho repeticiones utilizando 1.5% de ingrediente activo, con las concentraciones de 15000, 13000, 11000, 9000, 6000, 5000, 3000, 2000 partes por millón, y un testigo absoluto usando agua destilada como disolvente. El bioensayo también se evaluó utilizando el mismo procedimiento.

Análisis estadístico

El diseño experimental constó de un análisis estadístico o prueba *Probit* la cual arrojó como resultado la dosis letal 50 y dosis letal 90 de cada compuesto utilizado, así como sus límites fiduciales y su ecuación de predicción (Cristóbal Alejo *et al.*, 2006)

Con los resultados obtenidos de los bioensayos se obtuvieron los porcentajes de mortalidad con respecto a la fórmula de Abbott (1925).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Ventana biológica (pruebas preliminares)

Determinación de concentraciones efectivas para *M. incognita*

Se determinó el intervalo de concentraciones a utilizar de los estándares del extracto de citronelol, se realizó una ventana biológica o de efectividad aproximada para identificar el rango potencial de dosificación y su posible actividad contra *M. incognita*.

Las concentraciones que fueron evaluadas constaban de 100 ppm a 3000 ppm con un intervalo de 250 ppm. Cada concentración fue evaluada con ocho repeticiones de 50 individuos cada una. (Tabla 1)

Tabla 1

Porcentaje de mortalidad en nematodos sometidos a la aplicación de citronelol en concentraciones de 100 a 3000 ppm.

Dosis Citronelol (ppm)	Mortalidad (%)
100	1.75
250	17.00
500	29.75
750	44.25
1000	58.75
1250	70.50
1500	81.00
1750	92.00

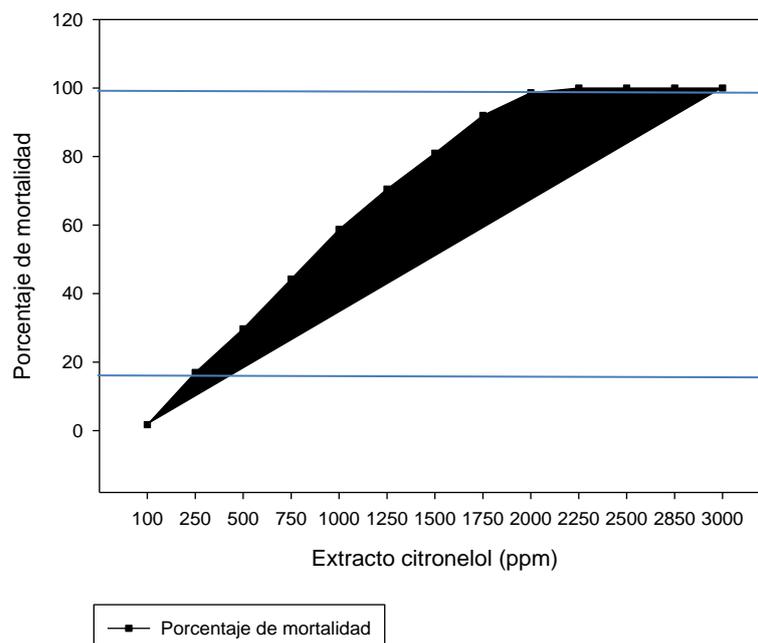
2000	98.63
2250	100.00
2500	100.00
2750	100.00
3000	100.00

Nota: Porcentaje de mortalidad correspondiente a las diferentes concentraciones de aplicación de citronelol, obtenidas por la fórmula de porcentaje.

Con respecto a la ventana biológica, la concentración baja efectiva en los nematodos, se encontró a partir 250 ppm, causando un 17% de mortalidad; por otro lado, a partir de la dosis de 2000 ppm a 3000 ppm no se encontraron diferencias significativas, de modo que entre estas dosis se formó un mismo grupo. Por lo tanto, a partir de 2000 ppm tiene una efectividad de 100%. (Figura 1)

Figura 1

Dosis de efectividad en el extracto de citronelol.



Nota: Las líneas azules indican el rango de dosis efectivas al 100% de extracto de citronelol en *M. incognita*.

Al determinar la ventana biológica para citronelol, se establecieron las concentraciones de 200 a 2000 ppm óptimas para realizar un bioensayo de efectividad biológica.

Determinación de concentraciones efectivas

Una vez obtenido este intervalo de concentraciones obtenido se realizó un bioensayo efectividad biológica que se llevó a cabo por la metodología de (Cristóbal Alejo *et al.*, 2006)

Donde se obtuvo que, a partir de las concentraciones de 250 ppm hasta 2000 ppm, fueron las óptimas para realizar el bioensayo con el objetivo de conocer el porcentaje de mortalidad.

El bioensayo consistió en la comparación del extracto de citronelol y el ingrediente activo abamectina.

Tabla 2

Porcentaje de mortalidad de nematodos bajo la aplicación de extracto de citronelol y Abamectina en diferentes dosis.

Citronelol			Abamectina		
Dosis	Porcentaje (%) de Mortalidad	Diferencia Significativa	Dosis	Porcentaje (%) de Mortalidad	Diferencia Significativa
250	17.00	B	2000	17.75	A

500	29.75	C	3000	31.75	B
750	44.25	D	5000	44	C
1000	58.75	E	6000	58.25	D
1250	70.50	F	9000	71.25	F
1500	81.00	G	1100	82	G
			0		
1750	92.00	H	1300	92.5	H
			0		
2000	98.63	I	1500	97.25	I
			0		

Fuente: Elaboración propia

En la evaluación de comparación del efecto de porcentaje de mortalidad entre citronelol y Abamectina en distintas dosis se observó que el extracto de citronelol, el mayor porcentaje de mortalidad se encuentra en la aplicación de 2000 ppm, como se observa en la tabla (2).

El extracto de citronelol fue el compuesto que presentó mayor mortalidad con un 100% (figura 2), estos resultados fueron superiores a los reportados por (Ochoa *et al.*, 2019) donde fueron evaluados diferentes extractos como: el limoneno, isotiocianato de alilo, eucaliptol, B- citronelol y azaridactina sobre *M. incógnita* a una concentración de 3 ml/L donde citronelol fue el que presentó mayor mortalidad con un 87.90% sobre J2 de *M. incógnita*. De igual forma fueron superiores a los reportados por (Djiwanti *et al.*, 2019) donde evaluaron compuestos *in vitro* contra *M. incógnita* de clavo+ aceite de hierba de citronela en jengibre, obteniendo 88.46% y 58.80% los cuales resultaron altamente tóxicos para los juveniles de nematodos con una concentración de 300 ml/L, causando una mortalidad de hasta el 100% quienes suprimieron en la tasa de penetración de *Meloidogyne incógnita* en raíces. Por otro lado (Moreira *et al.*, 2015) reporta

un caso similar en un estudio realizado en suelo, utilizando citronela sobre *M. incognita* en plantas de tomate, sobre una concentración de 4000 ppm con una efectividad del 67%; a una concentración de 20 ml L⁻¹, que, es decir, unas ocho veces superior al utilizado en este trabajo con un resultado de inhibición del 100% de la eclosión.

Los efectos nematicidas que ocasiona el citronelol, es debido a que contiene un grupo hidroxilo, dicho de otra forma, es un mono terpeno rico en alcohol (Wany *et al.*, 2014), responsable de provocar intoxicación a los nematodos (Abdel-Rahman *et al.*, 2013).

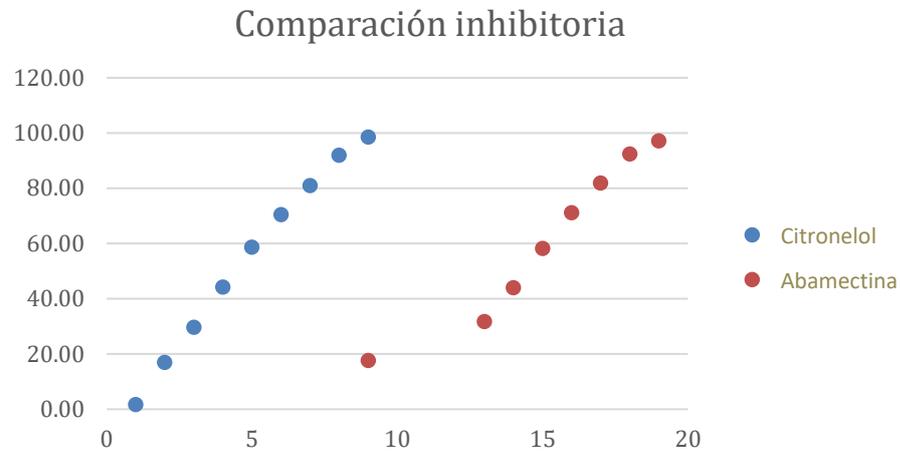
Para el bioensayo de Abamectina se usaron concentraciones de 2000 ppm a 15000 ppm al 1.50% en 15 mg/ml, en el que se controló con un porcentaje mayor al 97.25 % en 15 000 ppm.

En base a los resultados se determinó que la concentración control del 100% de mortalidad para nematodos *M. incognita* para citronelol es de 2000 ppm; contraste al producto comercial Abamectina, siendo la concentración de 15 000 ppm como la óptima para el mayor control de nematodos, como se observa en la figura 2.

Los resultados de esta evaluación difieren a los que reportan Qiao *et al.*, (2012) en una evaluación realizada con abamectina al 2.5% (EC) a 25 mg por L⁻¹ ocasionando una mortalidad del 91.9% en nematodos J2 de *M. incognita*. Por otro lado, Faske, TR y Starr, JL (2006) evaluaron el efecto en *M. incognita* en etapa J2 expuestas a diferentes dosis de abamectina/ml muy por debajo de las utilizadas en este trabajo, alcanzando una mortalidad del 99% a 21,5 µg.

Figura 2

Comparación de dosis inhibitoria entre el extracto de citronelol y Abamectina.



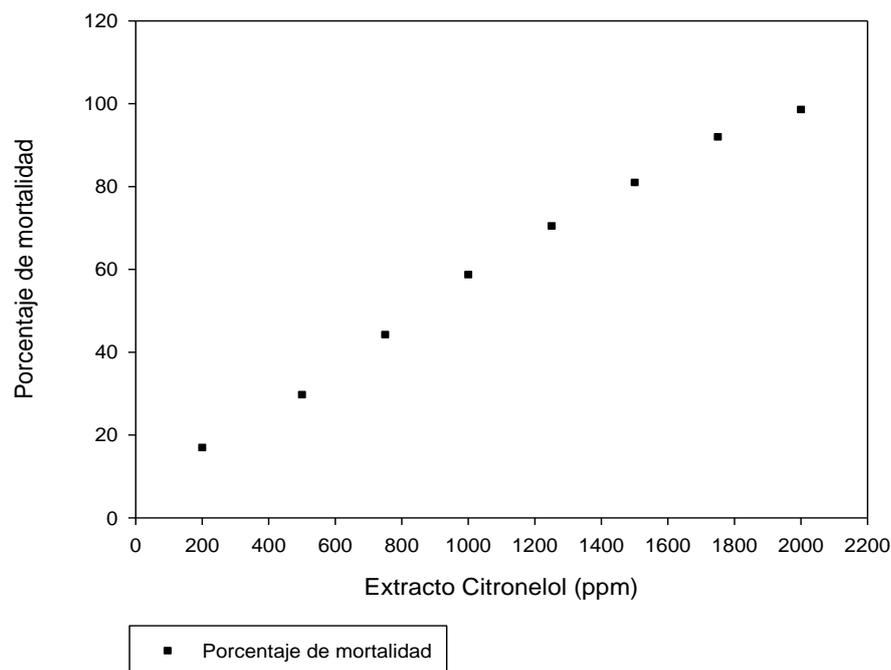
Fuente: Elaboración propia.

Por lo que en concentraciones bajas de citronelol, este tiene mayor efectividad en el porcentaje de mortalidad que la Abamectina. Debido a que en

concentraciones de 2000 ppm se obtiene un control del 100%, y en 250 ppm el 17.75% en citronelol y Abamectina respectivamente.

Figura 3

Porcentaje de mortalidad del extracto de citronelol.



En los valores de CL_{50} el citronelol obtuvo un CL_{50} de 717 ppm muy por debajo de la Abamectina con un CL_{50} 4821 ppm, del mismo modo sucedió en el caso de CL_{90} con 2008 ppm en citronelol, y 13 811 ppm respectivamente. Los resultados son semejantes a los de Ochoa et al., (2019) donde al igual se reportan bajas concentraciones de CL_{50} y CL_{95} en β -citronelol siendo estas de 44.06 ppm y 501.21 ppm respectivamente. Por otro lado, Abdel-Rahman et al., (2013) reporta al citronelol como un terpenoide efectivo contra *M. incognita* con dosis de CL_{50} de 16 μ g/mL a dosis por debajo de los realizados en este trabajo. A su vez Echeverrigaray et al., (2010) reporta a citronelol como un mono terpeno efectivo de los 22 evaluados sobre la eclosión de huevos con un 41.2% y movilidad en J2 con 59 % en *M. incognita* a concentraciones de 250 mg/litro.

Sin embargo, nuestros resultados son inferiores a los reportados por Moreira *et al.*, (2015) quienes evaluaron el aceite de citronela sobre *M. incognita*, obteniendo un 68% a una concentración de 1000 ppm, mientras que en el bioensayo a la misma concentración se obtuvo 58.75%. De igual manera Qiao *et al.*, (2012) reporta concentraciones letales de CL₅₀ de 7.06 y CL₉₀ de 21.81 mg, muy por debajo del estudio.

Tabla 3

Concentraciones inhibitorias (ppm) del extracto de Citronelol y Abamectina en Meloidogyne incognita.

	ppm						Ec. Predicción.
	CL ₅₀	LFI	LFS	CL ₉₀	LFI	LFS	
Citronelol	717	673	760	2008	1840	223	Y= -8.181528025 + 2.865158497
Abamectina	4821	4611	5031	13811	12947	0	Y= -10.32632477 + 2.865158497

Nota: CL: Concentración inhibitoria, LFI y LFS: límites fiduciales inferior y superior, respectivamente.

V. CONCLUSIONES

El extracto de citronelol se puede considerar como una alternativa prometedora para el control del nematodo *Meloidogyne incognita* por el tipo de compuestos de su acción biológica en particular, los cuales pueden tener un gran impacto en la disminución de este patógeno en el cultivo de tomate, sin embargo, es conveniente continuar realizando más investigaciones para la obtención del modo de acción de estos compuestos sobre nematodos fitoparásitos de gran importancia agrícola.

VI. LITERATURA CITADA

- Abate, T., Van Huis, A., & Ampofo, J. K. O. (2000). Pest management strategies in traditional agriculture: An African perspective. *Annual Review of Entomology*, 45(February), 631–659. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.45.1.631>
- Abdel-Rahman, F. H., Alaniz, N. M., y Saleh, M. A. (2013). Nematicidal activity of terpenoids. *Journal of Environmental Science and Health , Part B Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*, 48(January), 16–22. <https://doi.org/10.1080/03601234.2012.716686>
- Al-Hussini, H. S., Al-Rawahi, A. Y., Al-Marhoon, A. A., Al-Abri, S. A., Al-Mahmooli, I. H., Al-Sadi, A. M., & Velazhahan, R. (2019). Biological control of damping-off of tomato caused by *Pythium aphanidermatum* by using native antagonistic rhizobacteria isolated from Omani soil. *Journal of Plant Pathology*, 101(2), 315–322. <https://doi.org/10.1007/s42161-018-0184-x>
- Armendaris, I., Quiña, D., Ríos, M., y Landázuri, P. (2015). *Nemátodos fitopatógenos y metodos de control* (C. E. de la U. de las F. A.- ESPE (ed.)).
- Ausay, C. (2015). RESPUESTA DE TOMATE RIÑÓN (*Lycopersicum esculentum* Mill) Cv DOMINIC BAJO INVERNADERO A DOS RELACIONES NITRATO/AMONIO MEDIANTE FERTIRIEGO POR GOTEO. En *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., y Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils - A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Baldin, E. L. L., Aguiar, G. P., Fanela, T. L. M., Soares, M. C. E., Groppo, M., y Crotti, A. E. M. (2015). Bioactivity of *Pelargonium graveolens* essential oil and related monoterpenoids against sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* biotype B. *Journal of Pest Science*, 88(1), 191–199. <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0580-8>
- Bolaños, A. (1998). *INTRODUCCIÓN A LA OLERICULTURA* (p. 380). UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA.
- Brown, S. M., y Smart, G. C. (1985). Root Penetration by *Meloidogyne incognita* Juveniles Infected with *Bacillus Penetrans*. *Journal of nematology*, 17(2), 123–126.
- Castañeda, J. (2016). Producción de Jitomate Bajo Condiciones de Invernadero. En *Gastronomía ecuatoriana y turismo local*. (Vol. 1, Número 69). UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.
- Cepeda, M., Ochoa, Y., Cerna, E., Garrido, F., González, A., y Hernández, A. (2020). Efectividad de extractos biológicos y químicos comerciales para el control de nematodos en café en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(7), 1461–1498. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.1815>
- Chitwood, D. J. (2002). Phytochemical based strategies for nematode control. *Annual Review of Phytopathology*, 40, 221–249. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.032602.130045>
- Cristóbal Alejo, J., Tun Suárez, J. M., Moguel Catzín, S., Marbán Mendoza, N., Medina Baizabal, L., Simá-Polanco, P., Peraza-Sánchez, S. R., y Gamboa-Angulo, M. M.

- (2006). *IN VITRO* SENSITIVITY OF MELOIDOGYNE INCOGNITA TO EXTRACTS FROM NATIVE YUCATECAN PLANTS Meloidogyne spp . are recognized as the most destructive plant parasites in the world . These polyphagous nematodes have world-wide distribution , and are found in impto. *Nematropica*, 36(1), 89–98.
- Curto, G., Dallavalle, E., y Lazzeri, L. (2005). Life cycle duration of Meloidogyne incognita and host status of Brassicaceae and Capparaceae selected for glucosinolate content. *Nematology*, 7(2), 203–212. <https://doi.org/10.1163/1568541054879494>
- Djiwanti, S. R., Supriadi, y Wiratno. (2019). Effectiveness of some clove and citronella oil based-pesticide formulas against root-knot nematode on ginger. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 250(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/250/1/012090>
- Dorais, M., Ehret, D. L., y Papadopoulos, A. P. (2008). Tomato (Solanum lycopersicum) health components: From the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews*, 7(2), 231–250. <https://doi.org/10.1007/s11101-007-9085-x>
- Echeverrigaray, S., Zacaria, J., y Beltrão, R. (2010). Nematicidal Activity of Monoterpenoids Against the Root-Knot Nematode Meloidogyne incognita. *The American Phytopathological Society*, 100(2), 199–203. <https://doi.org/DOI:10.1094 /PHYTO-100-2-0199>
- Firdaus, S., van Heusden, A. W., Hidayati, N., Supena, E. D. J., Visser, R. G. F., y Vosman, B. (2012). Resistance to Bemisia tabaci in tomato wild relatives. *Euphytica*, 187(1), 31–45. <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0704-2>
- Foolad, M. R. (2007). Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International Journal of Plant Genomics*, 2007, 1–53. <https://doi.org/10.1155/2007/64358>
- Förster, K., y Jendrossek, D. (2010). Catabolism of citronellol and related acyclic terpenoids in pseudomonads. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 87(3), 859–869. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2644-x>
- Galicia, R. (2016). *EVALUACIÓN DE ABAMECTINA, EN EL TRATAMIENTO A SEMILLA DE PEPINO Cucumis sativus L. PARA EL CONTROL DEL NEMATODO DE LOS NÓDULOS RADICULARES Meloidogyne incognita.* UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.
- Gallegos Morales, G., Cepeda Siller, M., Hernández Castillo, F. D., Acosta Zamarripa, A. M., Velásquez Valle, R., González Gaona, E., y Sánchez Yáñez, J. M. (2009). Microorganismos Benéficos Asociados a Meloidogyne incognita (Kofoid y White) Chitwood en Guayabo (Psidium guajava L .) de Calvillo, Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de FITOPATOLOGÍA*, 27(2), 106–112.
- Giorgini, M., Guerrieri, E., Cascone, P., y Gontijo, L. (2019). Current Strategies and Future Outlook for Managing the Neotropical Tomato Pest Tuta absoluta (Meyrick) in the Mediterranean Basin. *Neotropical Entomology*, 48(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s13744-018-0636-1>
- González, M., y García, C. (2012). Uso de biorracionales para el control de plagas de hortalizas en el norte de Sinaloa. *Ra Ximhai*, 8, 31–46. <https://doi.org/10.35197/rx.08.03.e2.2012.04.mg>
- Guzmán, Ó., Castaño, J., y Villegas, V. (2012). *PRINCIPALES NEMATODOS*

FITOPARÁSITOS Y SÍNTOMAS OCASIONADOS EN CULTIVOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA. 20(1), 38–50.

- Hernández-leal, E., Lobato-ortiz, R., García-zavala, J. J., Reyes-lópez, D., Méndez-lópez, A., y Hernández-bautista, Aurelio Bonilla-barrientos, O. (2013). *COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE POBLACIONES F 2 DE HÍBRIDOS DE TOMATE (Solanum lycopersicum L.) AGRONOMIC PERFORMANCE OF F 2 POPULATIONS FROM TOMATO HYBRIDS (Solanum lycopersicum L.) El tomate ha sido y es de gran importancia socioeconómica- Unidos 90 % de l.* 36(3), 209–215.
- Hernández, A., Bautista, S., y Velázquez Del Valle, M. (2007). Prospectiva De Extractos Vegetales Para Controlar Enfermedades Postcosecha Hortofrutícolas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(2), 119–123.
- Hernández, A., Cepeda, M., Gallegos, G., Chacón, J., Ordaz, S., y González, A. (2015). Nematicidal activity of commercial organic products , against *Ditylenchus dipsaci* (Tylenchida : Anguinidae) under laboratory conditions. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11, 2247–2252.
- Hernández, D., Arias, Y., Gómez, L., Peteira, B., Miranda, I., y Rodríguez, M. G. (2012). Elementos del ciclo de vida de población cubana de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood en *Solanum lycopersicum L.* *Revista de Protección Vegetal*, 27(3), 188–193.
- Herrera, T. (2017). *Caracterización morfoagronómica de dos cultivares de tomate (Solanum lycopersicum L.) bajo cultivo protegido.* Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- Iller, D. (2017). *Evaluación de la actividad nematocida in vitro de aceites esenciales frente a Meloidogyne.*
- ITIS. (2011). *ITIS.* [https://doi.org/https://doi.org/10.5066/F7KH0KBK](https://doi.org/10.5066/F7KH0KBK)
- Jácome, A. C. (2018). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y RENDIMIENTO TOMATE DE MESA (Lycopersicum esculentum Mill.) PROVENIENTE DE SEMILLA BOTÁNICA Y ESQUEJES.* UDLA.
- Jaramillo, J., Rodríguez, V. P., Guzmán, M., Zapata, M., y Rengifo, T. (2007). *Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de Tomate Bajo Condiciones Protegidas.* CTP Print Ltda.
- Juroszek, P., Lumpkin, H. M., Yang, R. Y., Ledesma, D. R., y Ma, C. H. (2009). Fruit quality and bioactive compounds with antioxidant activity of tomatoes grown on-farm: Comparison of organic and conventional management systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(4), 1188–1194. <https://doi.org/10.1021/jf801992s>
- León, N. (2005). *Efectividad Biológica de un Biofertilizante en Plántulas de Tomate (Lycopersicon esculentum Mill.).* UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO DIVISIÓN.
- Liu, L. H., Zabarás, D., Bennett, L. E., Aguas, P., y Woonton, B. W. (2009). Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chemistry*, 115(2), 495–500. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.042>
- López, M., Gine, A., Vela, M. D., Ornat, C., Sorribas, F. J., Talavera, M., y Verdejo, S.

- (2014). Damage functions and thermal requirements of *Meloidogyne javanica* and *Meloidogyne incognita* on watermelon. *Annals of Applied Biology*, 165(3), 466–473. <https://doi.org/10.1111/aab.12154>
- Luna-Guevara, M. L., y Delgado-Alvarado, A. (2014). Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Importance, contribution and stability of antioxidants in fruits and products of tomato (Solanum lycopersicum L.)*, 18(1), 51–66.
- Martínez, J., Díaz, T., Allende, R., y Carrillo, J. (2019). Identificación y distribución de *Meloidogyne* spp. en tomate de Sinaloa México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), 453–459. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.392>
- Martínez Ruiz, F. E., Aíl Catzím, C. E., Hernández Montiel, L. G., Del Toro Sánchez, C., y Rueda Puente, E. O. (2016). Hongos Fitopatógenos Asociados Al Tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) En La Zona Árida Del Noroeste De México : La Importancia De Su Diagnóstico. *European Scientific Journal*, 12(18), 232–256. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n18p232>
- Morales, M. (2007). *Control del nematodo de los nódulos radiculares Meloidogyne incognita en el cultivo de melón en la Comarca Lagunera de Durango*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Moreira, F. J. C., Santos, C. D. G., Innecco, R., y Silva, G. S. da. (2015). Controle alternativo de nematode das galhas (*Meloidogyne incognita*) raça 2, com óleos essenciais em solo. *Summa Phytopathologica*, 41(3), 207–213. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/1967>
- Moreno, Y. (2010). *Diversidad morfológica y agronómica de poblaciones nativas de jitomate del centro sur y sureste de Mexico*. Colegio de postgraduadaos.
- Ntalli, N., Ferrari, F., Giannakou, I., y Menkissoglui, U. (2010). Phytochemistry and nematicidal activity of the essential oils from 8 greek lamiaceae aromatic plants and 13 terpene components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(13), 7856–7863. <https://doi.org/10.1021/jf100797m>
- Nuez, F., y Díez, M. J. (2008). Tomato. *Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement: Vegetable Crops*, 3, 249–323. <https://doi.org/10.5040/9781635577068-1852>
- Ochoa, Y., Cerna, E., Delgado, J., Aguirre, L., Landeros, J., y Cepeda, M. (2019). *In vitro EVALUATION OF THE NEMATICIDAL ACTIVITY OF LIMONENE, ALLYL ISOTHIOCYANATE, EUCALYPTOL, β -CITRONELLOL AND AZADIRACHTIN ON Meloidogyne incognita (Nematoda, Meloidogynidae)*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/urn:ISSN:1870-0462-tsaes.v22i3.2895>
- Ortega, R. M., Sobaler, A. M. L., Aranceta, J., y Majem, L. S. (2004). Are there any nutritional deficiencies in the Mediterranean Diet? *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 54(2 SUPPL. 1), 87–91.
- Peralta, I. E., Knapp, S., y Spooner, D. M. (2006). NOMENCLATURE FOR WILD AND CULTIVATED TOMATOES. *Informe de la Cooperativa de la Genética del Tomate*, 56, 6–12.
- Pérez A, L. F. (2017). *Evaluación de una Malla Agrícola Anti-Insectos con Propiedades Antitérmicas en el cultivo de tomate (Solanum lycopersicum)*. Centro de Investigación en Química aplicada.

- Qiao, K., Liu, X., Wang, H., Xia, X., Ji, X., y Wang, K. (2012). Effect of abamectin on root-knot nematodes and tomato yield. *Pest Management Science*, 68(6), 853–857. <https://doi.org/10.1002/ps.2338>
- Retta, A. N., y Berhe, D. H. (2015). Tomato leaf miner – *Tuta absoluta* (Meyrick), a devastating pest of tomatoes in the highlands of Northern Ethiopia : A call for attention and action. *Research Journal of Agriculture and Environmental Manage*, 4(6), 264–269.
- Ríos, R., Cepeda, M., Cerna, E., Ochoa, Y. M., Hernández, A., y Tapia, L. M. (2021). Nematodos asociados al cultivo de berenjena en Cañada Honda, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(7), 1305–1311.
- Roque, A. (2019). *EFEECTO DE FOSFITOS COMO INDUCTORES EN EL CULTIVO DE TOMATE (Solanum lycopersicum L.) INOCULADAS CON Candidatus Liberibacter solanacearum*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.
- Salazar, J., Arroyave, N., y Aristizábal, M. (2012). EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE MANEJO DE NEMATODOS FITOPARÁSITOS EN PLÁTANO (Musa AAB) DOMINICO HARTÓN. *Agronomía*, 20(1), 51–63.
- Salazar, W., y Guzmán, T. (2013). Nematodos fitoparásitos asociados al tomate en la zona occidental de Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 27. <https://doi.org/10.15517/am.v24i1.9638>
- Solanki, M. K., Robert, A. S., Singh, R. K., Kumar, S., Pandey, A. K., Srivastava, A. K., y Arora, D. K. (2012). Characterization of mycolytic enzymes of Bacillus strains and their bio-protection role against Rhizoctonia solani in tomato. *Current Microbiology*, 65(3), 330–336. <https://doi.org/10.1007/s00284-012-0160-1>
- Soto, N. (2014). *EFEECTO DE BACILLUS SUBTILIS Y GALLINAZA COMO SUPRESORES DE MELOIDOGYNE SP. EN CULTIVO CAPSICUM ANNUM, PIURA, PERÚ 2010-2011*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO.
- Taylor, A. L., y Sasser, J. N. (1983). BIOLOGIA, IDENTIFICACION Y CONTROL DE LOS NEMATODOS DE NODULO DE LA RAIZ. *Departamento de Fitopatología de la Universidad del Estado de Carolina del Norte*, 111.
- Torres Arellano, J. (2013). *Estudio de Evaluación de la Efectividad de Organismos Biológicos, para el Control del Nematodo Agallador Meloidogyne incognita en Papa Solanum tuberosom L., bajo Condiciones de Laboratorio y en Tomate Lycopersicom esculentum, bajo Condiciones de Invernade*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.
- Umpiérrez, M. L., Lagreca, M. E., Cabrera, R., Grille, G., y Rossini, C. (2012). Essential oils from Asteraceae as potential biocontrol tools for tomato pests and diseases. *Phytochemistry Reviews*, 11(4), 339–350. <https://doi.org/10.1007/s11101-012-9253-5>
- Wany, A., Kumar, A., Nallapeta, S., Jha, S., Nigam, V. K., y Pandey, D. M. (2014). Extraction and characterization of essential oil components based on geraniol and citronellol from Java citronella (Cymbopogon winterianus Jowitt). *Plant Growth Regulation*, 73(2), 133–145. <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9875-7>
- Zhou, L., Yuen.G, Wang, Y., Wei, L., y Ji, G. (2016). Evaluation of bacterial biological control agents for control of root-knot nematode disease on tomato. *Crop*

Protection, 84, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.12.009>

ANEXOS



A1. Tamiz de 50 mallas por pulgada cuadrada.



A2. Tamiz de 100 mallas por pulgada cuadrada.



A3. Tamiz de 400 mallas por pulgada cuadrada.



A4. Centrífuga.



A5. Desecho de sobrenadante.



A6. Agitación del suelo con el agua azucarada de forma manual.



A7. Lavado paredes del tamiz con una pizeta con agua destilada.



A8. Colocación de nematodos en tubos eppendorf.



A9. Observación de nematodos con ayuda del microscopio