



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL**

**COMBINACIÓN DE *Trichoderma* spp. EN EL
BIOCONTROL DE *Meloidogyne incognita* EN
SOLANÁCEAS**

TESIS

Que presenta:

Maryjose Eloísa Sabido Dzul

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias en Horticultura Tropical

Director de tesis:

Dr. Jairo Cristóbal Alejo

Conkal, Yucatán, México

Diciembre, 2025





Conkal, Yucatán, México a 12 de diciembre de 2025

El comité de tesis del candidato a grado: Maryjose Eloísa Sabido Dzul, constituido por los CC. Dr. Jairo Cristóbal Alejo, Dra. Felicia Amalia Moo Koh, Dr. Arturo Reyes Ramírez y Dr. José María Tun Suárez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **COMBINACIÓN DE *Trichoderma* spp. EN EL BIOCONTROL DE *Meloidogyne incognita* EN SOLANÁCEAS**, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Horticultura Tropical, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dr. Jairo Cristóbal Alejo
Director de Tesis

Dra. Felicia Amalia Moo Koh
Asesor de Tesis

Dr. Arturo Reyes Ramírez
Asesor de Tesis

Dr. José María Tun Suárez
Asesor de Tesis



Conkal, Yucatán, México a 12 de diciembre de 2025

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Maryjose Eloísa Sabido Dzul

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis el Dr. Jairo Cristóbal Alejo por su acompañamiento, paciencia, oportunas observaciones y confianza que transmitieron una fuente de motivación y aprendizaje continuo.

A la Dra. Felicia Amalia Moo Koh por su orientación académica y recomendaciones en el desarrollo de este trabajo, por compartir sus conocimientos y mejorar en mi crecimiento personal y profesional. Sus palabras de aliento y la confianza que me brindó.

Al Dr. Arturo Reyes Ramírez y Dr. José María Tun Suárez por el tiempo e interés que brindaron en este proceso. Sus observaciones, sugerencias y aportes fueron de gran ayuda para este trabajo.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo de la beca otorgada durante el periodo de la maestría.

A mis compañeros de maestría Adriana, Andrés, Alfredo, María y Ramón, por este camino de retos y aprendizajes. Conservo las risas, el apoyo mutuo y amistad.

A mis compañeros de laboratorio, por su apoyo, disposición y colaboración. El trabajo en equipo fue fundamental para cumplir los objetivos.

A Juan Gómez, por su paciencia en los días difíciles y por animarme a seguir adelante. Gracias por la fuerza transmitida en cada etapa del proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 INTRODUCCIÓN.	1
1.2 ANTECEDENTES.	2
1.2.1 Características de <i>Meloidogyne incognita</i>	2
1.2.2 Ciclo biológico de <i>Meloidogyne incognita</i>	2
1.2.3 Sintomatología causada por <i>Meloidogyne incognita</i>	3
1.2.4 Características de <i>Trichoderma</i> spp.	3
1.3 HIPÓTESIS.	6
1.4 OBJETIVOS.	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.	8
1.6 LITERATURA CITADA.	9
 CAPÍTULO II. BIOCONTROL DEL NEMATODO AGALLADOR (<i>Meloidogyne incognita</i>) CON CEPAS NATIVAS DE <i>Trichoderma</i> spp. EN TOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	
RESUMEN.	11
ABSTRACT.	12
INTRODUCCIÓN.	13
MATERIALES Y MÉTODOS.	14
Obtención de <i>Trichoderma</i> spp.	14
Preparación masiva de <i>Trichoderma</i> spp.	14
Establecimiento del cultivo	14
Variables de biocontrol de <i>Meloidogyne incognita</i>	15
Variables de crecimiento del tomate	16
Análisis estadístico	16
RESULTADOS.	16
Efecto de cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp. en el biocontrol de <i>Meloidogyne incognita</i> en tomate	16
Efecto de cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp. en el crecimiento del tomate	18
DISCUSIÓN.	18
CONCLUSIÓN.	20
LITERATURA CITADA.	21
 CAPÍTULO III. PRESENCIA DE GENES EN <i>Trichoderma</i> spp. ASOCIADOS A LA RESISTENCIA SISTÉMICA PARA EL BIOCONTROL DE <i>Meloidogyne incognita</i> EN <i>Capsicum chinense</i> Jacq.	

RESUMEN.	25
ABSTRACT.	26
INTRODUCCIÓN.	27
MATERIALES Y MÉTODOS.	28
Origen de <i>Trichoderma</i> spp.	28
Establecimiento del cultivo	28
Variables de biocontrol de <i>Meloidogyne incognita</i>	28
Índice de agallamiento	28
Número de hembras y huevos por g de raíz	29
Variables de crecimiento del chile habanero	29
Determinación de genes <i>Sm1</i> y <i>Epl1</i> relacionados a la resistencia sistémica	29
Análisis estadístico	30
RESULTADO Y DISCUSIÓN.	31
Efecto de <i>Trichoderma</i> spp. en el biocontrol de <i>Meloidogyne incognita</i>	31
Efecto de <i>Trichoderma</i> spp. en el crecimiento del chile habanero	32
Presencia de genes relacionados a la resistencia sistémica	34
CONCLUSIONES.	35
LITERATURA CITADA.	36

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO II.

Cuadro 1. Efecto de tratamientos en el índice de agallamiento estimado con modelos epidemiológicos de <i>M. incognita</i> en tomate	17
Cuadro 2. Efecto de tratamientos en la reproducción de <i>M. incognita</i> en tomate	17
Cuadro 3. Efecto de tratamientos en el crecimiento del tomate	18

CAPÍTULO III.

Cuadro 1. Efecto de tratamientos con <i>Trichoderma</i> spp. en el biocontrol de <i>M. incognita</i> en chile habanero	31
Cuadro 2. Efecto de tratamientos con <i>Trichoderma</i> spp. en el crecimiento del chile habanero	33

RESUMEN

Los nematodos del género *Meloidogyne* son considerados de importancia agrícola debido a los daños que provoca en el sistema radicular, están presentes en Solanáceas como el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y el chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). Éstos causan pérdidas en el rendimiento del 20-50%. Una alternativa de control biológico es la aplicación de hongos benéficos como *Trichoderma*. El presente trabajo tuvo como objetivo estimar en condiciones protegidas el efecto individual y combinación de *T. harzianum* (8-2019) y *T. asperellum* (Ta13-17) en el biocontrol de *M. incognita* en *S. lycopersicum* y *C. chinense*, así como, determinar la presencia de los genes *Sm1* y *Epl1* en *T. harzianum* (8-2019) y *T. asperellum* (Ta13-17) relacionados con la resistencia sistémica. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar y se evaluaron cinco tratamientos con 10 repeticiones por cultivo: T1: 8-2019 (10^{-6} conidios mL⁻¹), T2: Ta13-17 (10^{-6} conidios mL⁻¹), T3: Combinación (8-2019+Ta13-17), T4: Fithan® (10^{-6} conidios mL⁻¹) y T5: testigo (sin inoculantes). Para obtener inóculo del nematodo se utilizó 4,000 huevos por maceta; se evaluó el índice de agallamiento (IA), el número de huevos (NHU) y hembras (NHE) por g de raíz, además de altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), volumen radicular (VR), biomasa seca foliar (BSF) y biomasa seca de raíz (BSR). Para la detección de los genes se realizó una extracción de ADN de *Trichoderma* spp. y Reacciones de Cadena de la Polimerasa (PCR) utilizando iniciadores específicos para los genes *Sm1* y *Epl1*; En *S. lycopersicum*, a los 100 días después del trasplante (ddt), los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos. Respecto al T5, el T3 disminuyó el IA un 71 %; en el NHE y NHU un 93 %. En las variables de crecimiento el T1 y T2 incrementaron un 23 % y 28 % en AP, un 12 % y 15 % en DT, un 29 % y 19 % en VR, un 40 % y 45 % en BSF y un 38 % y 26 % en BSR. En *C. chinense*, a los 140 ddt, el T2 disminuyó respecto al testigo el IA un 66 %, el NHE un 90 % y el NHU un 86 %. El T1 y T2 incrementaron en AP un 9 % y 10 %, en el DT un 17 % y 12 %, en el VR entre un 76 % y 88 %, en la BSF un 26 % y 30 %, y BSR un 22 % y 31 %, respectivamente. En *S. lycopersicum* y *C. chinense*, la aplicación de *Trichoderma* spp. son una alternativa para biocontrol de *M. incognita* y son capaces de promover el crecimiento. Solo en *T. asperellum* (Ta13-17) se detectó el gen *Epl1* asociado con la activación de la resistencia sistémica.

Palabras clave: Agallador, antagonista, genes, endófito, fitonematodo.

ABSTRACT

Nematodes of the genus *Meloidogyne* are considered of agricultural importance due to the damage they cause to the root system, they are present in Solanaceae such as tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq). They cause yield losses of 20-50%. An alternative for biological control is the application of beneficial fungi such as *Trichoderma*. The objective of this work was to estimate, under protected conditions, the individual and combination effect of *T. harzianum* 8-2019 and *T. asperellum* Ta13-17 on the biocontrol of *M. incognita* in *S. lycopersicum* and *C. chinense*. As well as, determine the presence of the *Sml* and *Epl1* genes in *T. harzianum* 8-2019 and *T. asperellum* Ta13-17 related to systemic resistance. A completely randomized experimental design was used and five treatments with 10 repetitions per crop were evaluated: T1: 8-2019 (10^{-6} conidia mL⁻¹), T2: Ta13-17 (10^{-6} conidia mL⁻¹), T3: Combination (8-2019+Ta13-17), T4: Fithan® (10^{-6} conidia mL⁻¹) and T5: control (without inoculants). To obtain nematode inoculum, 4,000 eggs per pot were used; The galling index (AI), the number of eggs (NHU) and females (NHE) g of root were evaluated, as well as plant height (AP), stem diameter (DT), root volume (VR), leaf dry biomass (BSF) and root dry biomass (BSR). To detect the genes, DNA extraction from *Trichoderma* spp. and Polymerase Chain Reactions (PCR) using specific primers for the *Sml* and *Epl1* genes; In *S. lycopersicum*, at 100 days after transplantation (dat), statistical analyzes showed significant differences ($p \leq 0.01$) between treatments. Compared to T5, T3 decreased the AI by 71 %; in the NHE and NHU 93 %. In the growth variables, T1 and T2 increased by 23% and 28 % in AP, 12 % and 15 % in DT, 29 % and 19 % in VR, 40 % and 45 % in BSF and 38 % and 26 % in BSR. In *C. chinense*, at 140 dat, T2 decreased compared to the control, IA by 66 %, NHE by 90 % and NHU by 86 %. T1 and T2 increased in AP by 9 % and 10 %, in DT by 17 % and 12 %, in VR between 76 and 88 %, in BSF by 26 and 30 %, and BSR by 22 % and 31 %, respectively. In *S. lycopersicum* and *C. chinense*, the application of *Trichoderma* spp. They are an alternative for biocontrol of *M. incognita* and are capable of promoting growth. Only in *T. asperellum* (Ta13-17) was the *Epl1* gene associated with the activation of systemic resistance detected.

Keywords: Root weaver, antagonist, genes, endophyte, phytonematode.

1.1 INTRODUCCIÓN

Los nematodos del género *Meloidogyne* son fitopatógenos responsables de la formación de agallas en los tejidos radicales, afectan la absorción de nutrientes y agua, ocasionan susceptibilidad y facilidad en la introducción e infección de otros fitopatógenos (Cristóbal-Alejo *et al.*, 2023). Cuando las plantas son parasitadas por estos fitopatógenos, causan clorosis, caída de flores, frutos, marchitez, reducción de crecimiento y pérdidas de producción del 20-50%. Las especies de *Meloidogyne*, se encuentran distribuidos en regiones tropicales y subtropicales, en particular las especies de *Meloidogyne incognita*, *M. arenaria*, *M. hapla* y *M. javanica* (Castañeda-Laureles *et al.*, 2022); en México, afectan solanáceas como tomate y chile habanero, éste último cuenta con una denominación de origen desde el 2010 como “chile habanero de la península de Yucatán” (SIAP, 2023). Estas hortalizas son importantes, por utilizarse como ingredientes en la cocina y destacan por ser cultivos de exportación con alta demanda de consumo, valor nutricional y económico (SIAP, 2024). En los últimos años el rendimiento de estos cultivos ha disminuido por la presencia recurrente de este nematodo, lo que ha obligado al uso excesivo de nematicidas químicos con poca efectividad lo que selecciona poblaciones resistentes, daños a la salud humana, al ambiente y al microbioma del suelo (Martínez-Canto *et al.*, 2022).

Ante esta problemática, se ha incrementado la búsqueda de aislamientos de microorganismos antagonistas del género *Trichoderma* spp. Este género tiene la capacidad de colonizar la rizosfera, promover el crecimiento vegetal e inducir la activación de mecanismos de defensas de las plantas (Oliveira *et al.*, 2022). Las especies de *Trichoderma* presentan diferentes mecanismos de acción como: competencia por espacio y nutrientes, antibiosis y parasitismo de hongos, nematodos y otros fitopatógenos (Matas-Baca *et al.*, 2023), además de generar proteínas, ácido indolacético y sideróforos que en conjunto favorecen la nutrición y promueven el crecimiento para mejorar la productividad de los cultivos (Zhin y Badaluddin *et al.*, 2020).

La efectividad individual de *Trichoderma* ha sido probada ampliamente, y han mostrado un potencial como antagonista tanto *in vitro* como *in vivo* de fitopatógenos en diversos cultivos. Sin embargo, existe poca información que aporte una evidencia del efecto en combinación de estos microorganismos como agentes de biocontrol.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Características de *Meloidogyne incognita*

Las especies del género *Meloidogyne* son considerados de importancia para el sector agrícola. En México, se han encontrado principalmente especies como: *Meloidogyne incognita*, *M. arenaria*, *M. hapla*, *M. javanica* y recientemente *M. enterolobii* (Castañeda-Laureles *et al.*, 2022; Gómez-Rodríguez *et al.*, 2024). Para Yucatán, se reportó por primera vez la presencia de *M. incognita* en cultivos de tomate y chile habanero, distribuyéndose a localidades principales de zonas hortícolas, donde ocasionaron severos daños en el sistema radicular de cultivos como melón, pepino, calabaza, sandía, frijol, entre otros (Cristóbal-Alejo *et al.*, 2021). Estos nematodos cuentan con una amplia gama de hospedantes, tan solo una especie de este género tiene la capacidad de infectar diversidad de hospedantes. También, un mismo hospedante puede tener a más de una especie de este género, lo que causa un solapamiento de especies (Chirinos, 2024).

1.2.2 Ciclo biológico de *Meloidogyne incognita*

El ciclo empieza con la ovoposición de la hembra adulta, en este estadio el nematodo deposita los huevos en una masa gelatinosa, secretada por glándulas rectales, la cual está compuesta por glicoproteínas; tiene la función de preservación y protección de los huevos en condiciones ambientales extremas o depredación por otros microorganismos (Chirinos, 2024).

Después de la ovoposición, el desarrollo de los huevos (embriogénesis) da lugar al primer estado juvenil (J1) que se presenta de forma enrollada dentro del huevo con movimiento limitado y con estilete. Le sigue una primera muda, dentro del huevo y después eclosiona el juvenil del segundo estadio (J2) el cual rompe la membrana de huevo mediante movimientos retractiles que realiza con su estilete (León de la Cruz, 2021). En el suelo, el J2 necesita localizar un hospedante de manera inmediata, donde es atraído por las raíces y penetra para alimentarse con su estilete de células gigantes que forman durante esta interacción y que mantienen con la participación de glándulas esofágicas, una vez formada la célula gigante, el nematodo se vuelve sedentario y se hincha (Cristóbal-Alejo *et al.*, 2021). En condiciones favorables, el J2 muda al tercer estadio juvenil (J3), después al juvenil de cuarta etapa (J4), y finalmente a la etapa adulta (León de la Cruz, 2021).

Cuenta con un dimorfismo sexual, las hembras periformes (globosas) al ser sedentarias y pueden producir huevos por partenogénesis, iniciando nuevamente el ciclo de vida. Por el contrario, los machos son filiformes abandonan la raíz, permaneciendo en el suelo y no hay evidencia de que se alimenten (Castañeda-Laureles *et al.*, 2022).

1.2.3 Sintomatología causada por *Meloidogyne incognita*

Los síntomas más característicos de la enfermedad son los que aparecen sobre los órganos subterráneos de las plantas. En las raíces infectadas se forman agallas, como consecuencia de una hipertrofia e hiperplasia, que ocurren cuando los nematodos liberan enzimas durante la alimentación, provocando que las plantas pierdan la capacidad de absorber agua y nutrientes (Garces, 2022). Los síntomas de los órganos aéreos son similares a los que producen muchas otras enfermedades de la raíz o factores del ambiente, como caída de hojas, falta de vigor, marchitez, inflorescencias y frutos con desarrollo deficiente (Cristóbal-Alejo *et al.*, 2021), provocando alteraciones en la continuidad del tejido vascular, reducción del crecimiento de las plantas (Castañeda-Laureles *et al.*, 2022).

1.2.4 Características de *Trichoderma* spp.

El género *Trichoderma* es un hongo saprófito cosmopolita, se alimentan de materia orgánica y se distribuyen en suelos de diferentes ecosistemas (Sood *et al.*, 2020). Su morfología microscópica de los conidióforos en estado anamorfo es ramificada, con hifas tabicadas que poseen más de un núcleo; los conidios son ovoides uninucleados, con pared normalmente lisa, hifas hialinas al inicio y se tornan verde oscuro o amarillento. La mayoría de las cepas son aterciopeladas dispuestas en círculos concéntricos con diferentes tonalidades, indicando la formación de esporas. Para su crecimiento necesitan bajos requerimientos nutricionales y un rango de 25-30 °C (Matas-Baca *et al.*, 2023).

Actualmente, se han descrito al menos 541 especies y alrededor del 10% han sido aprovechadas como agentes de control biológico de enfermedades de importancia agrícola (Andrade-Hoyos *et al.*, 2023). Presentan mecanismos de biocontrol por micoparasitismo, competencia, antibiosis, suprime la actividad de organismos fitopatógenos, mantiene el microbioma del suelo y mejora el crecimiento y producción de las plantas (Martínez-Canto *et al.*, 2021). Estas especies se distinguen por su rápido crecimiento, su capacidad de colonización y la producción de metabolitos secundarios que inhiben el crecimiento de hongos, eclosión de huevos e inmovilidad de nematodos (Zhin y Badaluddin, 2020). La

producción de enzimas como celulasas, quitinasas, glucanasas participan en la hidrólisis de la pared celular para penetrar a los hongos y a los nematodos. Así, como promover el crecimiento vegetal e inducir la activación de mecanismos de defensas de las plantas (Oliveira *et al.*, 2022). Se ha demostrado que el uso de cepas nativas tiene mayor efectividad; por su adaptabilidad a las condiciones abióticas, lo que favorece su establecimiento y colonización de hospederos (Celis-Perera *et al.*, 2021).

Como antagonista de *M. incognita*, especies de *Trichoderma* se han evaluado en diversos cultivos. En *S. lycopersicum*, la evaluación individual de *T. erinaceum* (Te10-15) disminuyó el 60.3 % en el número de huevos y el 80.6 % en el número de hembras (Martínez-Canto *et al.*, 2022). Sin embargo, en estudios con la combinación de *Trichoderma* spp. mostraron su efectividad antagonica en *S. lycopersicum* donde la combinación de *T. citrinoviride* (Th33-58) y *T. harzianum* (Th33-59) redujeron un 83 % el índice de agallamiento, un 94.1 % el número de hembras y un 80.3 % el número de huevos (Moo-Koh *et al.*, 2018). En *C. chinense*, se combinaron *T. asperellum* (Ta13-17) y *T. erinaceum* (Te10-15) y disminuyeron el 86.1 % en el índice de agallamiento, el 85 % en el número de hembras y el 75 % en el número de huevos (Puc, 2023). En *Caspsicum annuum*, la aplicación de *Trichoderma* spp. registró reducciones entre un 32 % al 6 % en el índice de agallamiento, un 84.3 % al 45.35 % en el número de hembras y un 90 % al 27 % en número de huevos (Basto-Pool *et al.*, 2023). La combinación de *T. harzianum*-C1, *T. atroviride*, *T. virens* y *T. harzianum*-C2 redujeron la reproducción del nematodo un 68 % el número de huevos y un 42 % el número de hembras en *C. annuum* (Herrera-Parra *et al.*, 2023a)

Por otra parte, *Trichoderma* spp. posee la facultad de inducir la activación de mecanismos de defensas, regulado por elicitores que pueden originarse en la planta hospedera (elicitores endógenos) o en el microorganismo (elicitores exógenos) induciendo respuestas bioquímicas o estructurales que se asocian con la expresión de resistencia a enfermedades de las plantas (Rojas-Moreno *et al.*, 2023). Entre los elicitores, se encuentran las proteínas del tipo ceratoplataninas, como el *Sml* y su homólogo *EplI* (Tanaka y Kahmann, 2021). El *Sml* mediante la participación con el ácido jasmónico (AJ) y el etileno (ET) activa la resistencia sistémica inducida en las primeras etapas de interacción con la planta. Mientras la proteína *EplI* favorece la señalización de las vías del ácido salicílico (AS) induciendo la resistencia sistémica adquirida como medida de defensa al ataque de fitopatógenos (Martínez-Canto *et al.*, 2021).

En estudios recientes, *T. virens* Gv29-8 expresó la proteína *Sm1* induciendo defensas locales y sistémicas en plantas de algodón, arroz y maíz cuando se inocularon con fitopatógenos biotróficos y necrotrofos (Sharma *et al.*, 2022). Rojas-Moreno *et al.* (2023) encontraron que *T. atroviride* (TaOE) con la proteína *Epl1* aumentó en plantas de tomate, la resistencia a diferentes fitopatógenos y en *T. asperellum* (T4) mostró actividad protectora contra *Cercosporidium sofinum* en hojas de soja. También, *T. virens* (Th27-08 y Th32-09) con la presencia de *Sm1* y *T. asperellum* (19-31) y *T. erinaceum* (Te10-15) con la proteína *Epl1* indujeron resistencia sistémica ante el ataque de hongos y nematodos (Martínez-Canto *et al.*, 2021; Martínez-Canto *et al.*, 2022).

1.3 HIPÓTESIS

La combinación de *T. harzianum* 8-2019 y *T. asperellum* Ta13-17 mejora el biocontrol de *M. incognita* en *S. lycopersicum* y *C. chinense*, por lo que el crecimiento y rendimiento de las plantas aumenta significativamente en relación al efecto individual y al testigo sin inoculantes.

1.4 OBJETIVOS

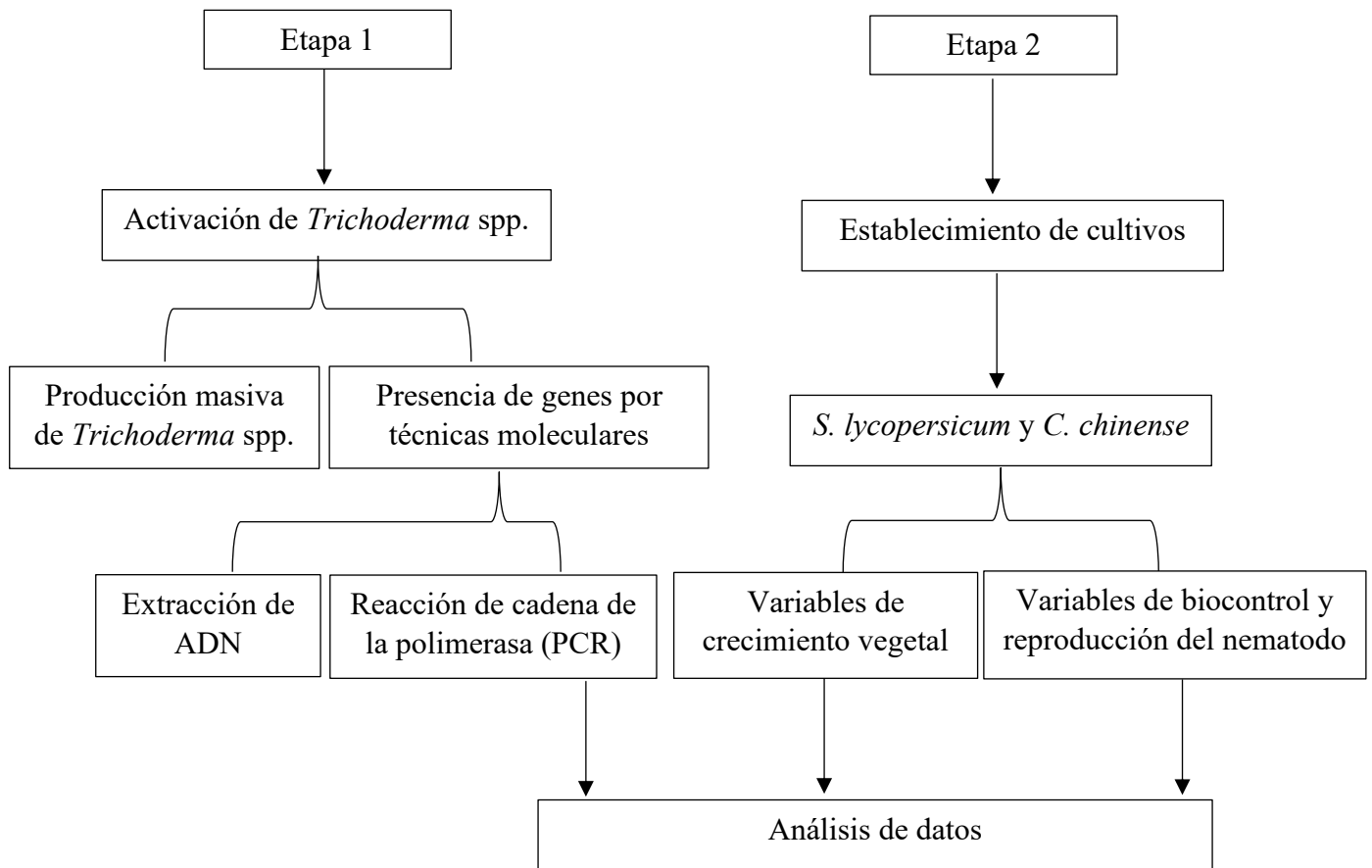
1.4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de *Trichoderma* spp. en el biocontrol de *M. incognita* en *S. lycopersicum* y *C. chinense*.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estimar el efecto individual y combinación de *T. harzianum* 8-2019 y *T. asperellum* Ta13-17 en el biocontrol de *M. incognita* en *S. lycopersicum* y *C. chinense*.
- Determinar la presencia de genes *Sm1* y *Epl1* en *T. harzianum* 8-2019 y *T. asperellum* Ta13-17 relacionados a la resistencia sistémica.

1.5 EXQUEMA EXPERIMENTAL



1.6 LITERATURA CITADA

- Andrade-Hoyos P, Rivera-Jiménez M, Landero-Valenzuela N, Silva-Rojas H, Martínez-Salgado S, Romero-Arenas O. 2023. Beneficios ecológicos y biológicos del hongo cosmopolita *Trichoderma* spp. en la agricultura: una perspectiva en el campo mexicano. *Revista Argentina de Microbiología* 55: 366-377. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>
- Castañeda-Laureles N, Salgado-Siclán M, Jaimes-Cruz B, Rivas-Manzano I. 2022. Detección molecular de *Meloidogyne incognita* ((Kofoid y White, 1919) Chitwood, 1949) en jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), México. *Journal of Agricultural Sciences Research* 2 (22). <https://doi.org/10.22533/at.ed.9732112216098>
- Celis-Perera S, Moo-Koh FM, Reyes-Ramírez A, Tun-Suárez JM, Cristóbal-Alejo J. 2021. Antagonismo *In vitro* de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg (Ta13-17) contra hongos patógenos de *Solanum lycopersicum* L. *Revista de Protección Vegetal* 36 (3): 224-4697. <http://dx.doi.org/10.56369/BAC.5336>
- Cristóbal-Alejo J, Moo-Koh FM, Tun-Suárez JM, Reyes-Ramírez A, Gamboa-Angulo M. 2021. Efecto de la interacción dual de especies de *Trichoderma* en el crecimiento de *Capsicum chinense* Jacq. *Agrociencia* 55: 681-693. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i8.2661>
- Cristóbal-Alejo J, Ramos-Zapata J, Garruña-Hernández R, Reyes-Estébanez M, Herrera-Parra E. 2023. Consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares y *Trichoderma* controlan a *Meloidogyne incognita* en chile habanero. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10 (3). <https://doi.org/10.19136/era.a10n3.3802>
- Chirinos D. 2024. Caracterización de poblaciones de nematodos del género *Meloidogyne* asociadas al cultivo de *Sacha inchi* en el departamento de San Martín. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Garcés N. 2022. Efecto de *Trichoderma harzianum* para el control de *Meloidogyne incognita* en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Gómez-Rodríguez O, León-Tello M, Villar-Luna E, Aguilar-Marcelino L, Zuñiga-Mayo V. M. 2024. Arvenses potenciales como cultivo trampa para *Meloidogyne enterolobii* y *Nacobbus aberrans*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 15 (8). <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i8.3610>

- Herrera-Parra E, Cristóbal-Alejo J, Zavala-León M, Basto-Pool C. 2023a. Hongos micorrícicos arbusculares y *Trichoderma* en *Capsicum annuum* disminuyen el daño inducido por *Meloidogyne incognita*. *Temas Agrarios* 28 (1): 37-45. <https://doi.org/10.21897/rta.v28i1.3158>
- León de la Cruz G. 2021. Efecto de *Paecilomyces lilacinus* (Thom.) Samson y *Trichoderma* sp. En el control de *Meloidogyne* sp. En albahaca (*Ocimum basilicum* L.). Universidad San Pedro.
- Matas-Baca M, Flores-Córdova M, Pérez-Álvarez S, Rodríguez-Roque M, Salas-Salazar N, Soto-Caballero M, Sánchez-Chávez E. 2022. Hongos *Trichoderma* como control biológico agrícola en México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 29 (3): 79-114. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2022.11.015>
- Martínez-Canto O, Cristóbal-Alejo J, Tun-Suárez JM, Reyes-Ramírez A. 2022. *Trichoderma erinaceum* and *Trichoderma virens* in the control of *Meloidogyne incognita* in *Solanum lycopersicum*. *Agrociencia* 8 (2): 32791. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v57i8.2784>
- Moo-Koh FM, Cristóbal-Alejo J, Reyes-Ramírez A, Tun-Suárez JM, Gamboa-Angulo M, Islas-Flore I. 2018. Incompatibilidad interespecífica de especies de *Trichoderma* contra *Meloidogyne incognita* en *Solanum lycopersicum*. *Scientia fungorum* 47: 3745. <https://doi.org/10.33885/sf.2018.47.1191>
- Oliveira N, Martins C, José C, Vinícius de Carvalho M, Lobo M, Rúbia M. 2022. *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma asperellum* are potential biocontrol agents of *Meloidogyne javanica* in banana cv. Grande Naine. *Biological Control* 175 (5): 105054. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105054>
- Puc C. 2023. Control microbiano de *Meloidogyne incognita* en *Capsicum chinense* bajo un sistema de producción orgánica. Tesis de maestría. Tecnológico Nacional de México.
- Rojas-Moreno M, González-Pérez E, Rodríguez-Hernández A, Ortega-Amaro M, Becerra-Flora A, Serrano M, Jiménez J. 2023. Expression of *EPL1* from *Trichoderma atroviride* in *Arabidopsis* Confers Resistance to Bacterial and Fungal Pathogens. *Plants* 12: 2443. <https://doi.org/10.3390/plants12132443>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Anuario estadístico de la producción agrícola, Servicio de información agroalimentaria y pesquero. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. (Recuperado: marzo de 2024).

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. Anuario estadístico de la producción agrícola, Servicio de información agroalimentaria y pesquero. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. (Recuperado: abril de 2025).
- Sood M, Kapoor D, Kumar V, Sheteiwy M, Ramakrishnan M, Landi M, Araniti F, Sharma A. 2020. *Trichoderma*: The “Secrets” of a multitalented biocontrol agent. *Plants* 9: 762. <http://doi.org/10.3390/plants9060762>
- Sharma A, Salwan R, Sharma V. 2022. Extracellular proteins of *Trichoderma* and their role in plant health. *South African Journal of Botany* 147: 359-369. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.01.036>
- Tanaka S & Kahmann R. 2021. Cell wall-associated effectors of plant-colonizing fungi. *Mycologia* 113: 247-260. <https://doi.org/10.1080/00275514.2020.1831293>
- Zin NA, Badaluddin NA. 2020 Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences* 65: 168-178. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.09.003>

Capítulo II. BIOCONTROL DEL NEMATODO AGALLADOR (*Meloidogyne incognita*) CON CEPAS NATIVAS DE *Trichoderma* spp. EN TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

sabidomaryjose@gmail.com, jairo.ca@conkal.tecnm.mx

RESUMEN

A nivel mundial, el tomate (*Solanum lycopersicum*) es una hortaliza requerida por su consumo, valor nutricional y económico. Sin embargo, la presencia de *Meloidogyne incognita* un nematodo agallador que puede causar pérdidas de producción de hasta el 50%. Una alternativa de control biológico es el uso del hongo del género *Trichoderma*. El objetivo de este estudio fue evaluar en condiciones protegidas el biocontrol de *M. incognita* con cepas nativas de *Trichoderma* spp. Se utilizó un diseño completamente al azar, cinco tratamientos con 10 repeticiones (T1: *T. harzianum* 8-2019, T2: *T. asperellum* Ta13-17, T3: combinación 8-2019+Ta13-17, T4: Fithan[®] *Trichoderma* spp., y T5: testigo sin inoculantes). Los análisis mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos. Con relación al tratamiento testigo, el tratamiento combinación 8-2019+Ta13-17 tuvo reducciones del 71 % en el índice de agallamiento y del 93 % en el número de hembras y número de huevos. Sin embargo, en las variables de crecimiento en relación con el tratamiento testigo sin inoculantes, los tratamientos *T. asperellum* Ta13-17 y *T. harzianum* 8-2019 incrementaron un 23 % y 28 % en altura, un 12 % y 15 % en diámetro de tallo, un 29 % y 19 % en volumen radicular, un 40 % y 45 % en biomasa seca foliar y un 38 % y 26 % en biomasa seca de raíz. El tratamiento combinación 8-2019+Ta13-17 son una alternativa para el biocontrol del nematodo agallador, pero para mejorar la promoción de crecimiento son efectivas de manera individual.

Palabras clave: Fitonematodo, antagonista, endófito, combinación.

Capítulo III. PRESENCIA DE GENES EN *Trichoderma* spp. ASOCIADOS A LA RESISTENCIA SISTÉMICA PARA EL BIOCONTROL DE *Meloidogyne incognita* EN *Capsicum chinense* Jacq.

sabidomaryjose@gmail.com, jairo.ca@conkal.tecnm.mx

RESUMEN

La aplicación de *Trichoderma* es una alternativa para el biocontrol de nematodos, además de tener la capacidad de activar respuestas protectoras locales y sistémicas de las plantas. El objetivo de este estudio fue detectar genes *Sm1* y *Epl1* asociados a la resistencia sistémica en *Trichoderma* spp. para el biocontrol de *M. incognita* en chile habanero. Se utilizó un diseño completamente al azar y cinco tratamientos con 10 repeticiones: T1: *T. harzianum* (8-2019) T2: *T. asperellum* (Ta13-17), T3: Combinación (8-2019+Ta13-17), T4: Fithan ® (*Trichoderma* spp.) y T5: Testigo (sin inoculantes). El inóculo del nematodo consistió en 4,000 huevos larvados por maceta. A los 140 días después del trasplante, se evaluó el índice de agallamiento (IA), número de hembras (NHE) y número de huevos (NHU) por g de raíz, además de variables de crecimiento de altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), volumen radicular (VR), biomasa seca foliar (BSF), biomasa seca de raíz (BSR) y rendimiento (R). Por otra parte, se realizó extracción de ADN de *Trichoderma* spp. y reacciones de cadena de la polimerasa (PCR). Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos. Respecto al T5, el T2 redujo un 71.8 % el IA, un 90 % el NHE y un 86 % el NHU. En las variables de crecimiento el T1 y T2 incrementaron un 9.4 % y 10.4 % en AP, un 17.5 % y 12.7 % en DT, un 17.4 % y 23 % en VR, un 26.5 % y 30.6 % en BSF, un 22 % y 31.8 % en BSR y un 20.3 % y 7.1 % en R, respectivamente. La aplicación de *Trichoderma* spp. son una alternativa para el biocontrol de *M. incognita* y promotoras de crecimiento del chile habanero, así como, la detección del gen *Epl1* en *T. asperellum* (Ta13-17).

Palabras clave: Nematodos, resistencia sistémica inducida, genes, antagonistas