



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

**IDENTIFICACIÓN DE HONGOS CAUSANTES DE
ENFERMEDADES EN ESPECIES FORESTALES
TROPICALES EN VIVERO Y SU CONTROL CON
Trichoderma spp.**

TESIS

Que presenta:

Lorenza Caamal Eb

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Doctora en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable

Director de tesis:

Dr. Jairo Cristóbal Alejo

Conkal, Yucatán, México

Junio, 2026



TecNM



Conkal, Yucatán, México, a 01 de junio de 2026

El comité de tesis de la candidata a grado: Lorenza Caamal Eb, constituido por los CC. Dr. Jairo Cristóbal Alejo, Dra. Silvia Edith García Díaz, Dr. Alberto Uc Vázquez, Dr. José María Tun Suárez y el Dr. Arturo Reyes Ramírez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **IDENTIFICACIÓN DE HONGOS CAUSANTES DE ENFERMEDADES EN ESPECIES FORESTALES TROPICALES EN VIVERO Y SU CONTROL CON *Trichoderma* spp.**, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Doctora en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable, 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. Silvia Edith García Díaz
Asesor de Tesis



Dr. Alberto Uc Vázquez
Asesor de Tesis

Dr. José María Tun Suárez
Asesor de Tesis



Dr. Arturo Reyes Ramírez
Asesor de Tesis



Conkal, Yucatán, México a 01 de junio de 2026.

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.

Lorenza Caamal Eb

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	3
1.2.1. Diagnóstico de hongos fitopatógenos en viveros de especies forestales tropicales.....	3
1.2.2. <i>Trichoderma</i> spp. como agente de biocontrol sobre hongos fitopatógenos	5
1.2.3. Fungicidas de síntesis química utilizados para el control de hongos fitopatógenos	6
1.2.4. Situación de la producción de planta forestal tropical	8
1.3. Hipótesis	10
1.4. Objetivos	10
1.4.1. Objetivo general	10
1.4.2. Objetivos específicos	10
1.5. Procedimiento experimental	11
1.6. Literatura citada	12
II. CAPÍTULO 2. <i>Fusarium solani</i> asociado a <i>Cedrela odorata</i> y <i>Swietenia macrophylla</i> y su sensibilidad a fungicidas convencionales	18
2.1 RESUMEN	18
III. CAPÍTULO 3. Antracnosis foliar en <i>Swietenia macrophylla</i> causada por especies de <i>Colletotrichum</i> y escala logarítmica diagramática de severidad	20
3.2 RESUMEN	20
IV. CAPÍTULO 4. <i>Neopestalotiopsis</i> spp.: Patógenos emergentes causantes de mancha foliar en <i>Swietenia macrophylla</i> en Yucatán, México	22
4.1 RESUMEN	22
V. CAPÍTULO 5. Control biológico y químico <i>in vitro</i> de hongos patógenos de plantas forestales tropicales en vivero	23
5.1 RESUMEN	23

RESUMEN

La producción de plantas forestales tropicales se mantiene constante en el estado de Yucatán, México, se utilizan para reforestar, restaurar suelos degradados o integrarlas en los agroecosistemas. Sin embargo, la producción extensiva en vivero somete a las plántulas a factores adversos, principalmente a la aplicación indiscriminada de fungicidas por el desconocimiento de los agentes fúngicos que afectan a éstas; lo que propicia condiciones para la aparición de patógenos nuevos o emergentes. El objetivo de esta investigación fue determinar los agentes causales de enfermedades fúngicas en raíz, tallo y follaje de *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* provenientes de vivero y evaluar su control *in vitro* con fungicidas de síntesis química y con aislados nativos de *Trichoderma* spp. Los aislados fúngicos obtenidos se identificaron por caracterización morfológica y técnicas moleculares. El antagonismo de *Trichoderma* se evaluó mediante confrontaciones duales y la efectividad química con el método de microdilución y con la técnica de medio de cultivo envenenado. Se identificó a *Fusarium solani* asociado a la pudrición de raíz y tallo en *C. odorata* y *S. macrophylla*; asimismo se identificaron a *Colletotrichum gloeosporioides*, *C. truncatum*, *Exserohilum rostratum* y *Neopestalotiopsis* spp. como causantes de enfermedades foliares en *S. macrophylla*. Las especies de *Trichoderma*, mostraron capacidad antagónica sobre los hongos fitopatógenos. El procloraz y mancozeb fueron efectivos contra *F. solani*; el mancozeb inhibió el crecimiento micelial de *C. truncatum*, *E. rostratum* y *C. gloeosporioides*. Los fitopatógenos identificados pueden causar pérdidas del 30 al 50% de la producción en viveros de plantas forestales tropicales.

ABSTRACT

The production of tropical forest plants remains constant in the state of Yucatan, Mexico, these plants are used for reforestation, to restore degraded soils, or to integrate them into agroecosystems. However, extensive nursery production exposes seedlings to adverse factors, primarily the indiscriminate application of fungicides due to a lack of knowledge about the fungal agents affecting them; this creates conditions conducive to the emergence of new or emerging pathogens. The objective of this research was to identify the causal agents of fungal diseases in the roots, stems, and foliage of *Cedrela odorata* and *Swietenia macrophylla* from a nursery and to evaluate their *in vitro* control using synthetic fungicides and native isolates of *Trichoderma* spp. The fungal isolates obtained were identified by morphological characterization and molecular techniques. *Trichoderma* antagonism was evaluated using dual confrontations and chemical effectiveness was assessed using the microdilution method and the poisoned culture medium technique. *Fusarium solani* was identified as associated with root and stem rot in *C. odorata* and *S. macrophylla*; *Colletotrichum gloeosporioides*, *C. truncatum*, *Exserohilum rostratum*, and *Neopestalotiopsis* spp. were identified as causing foliar diseases in *S. macrophylla*. *Trichoderma* species exhibited antagonistic activity against phytopathogenic fungi. Prochloraz and mancozeb were effective against *F. solani*; mancozeb inhibited mycelial growth of *C. truncatum*, *E. rostratum*, and *C. gloeosporioides*. The identified phytopathogens can cause production losses of 30–50% in tropical forest plant nurseries.

I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Introducción

Las enfermedades fitopatógenas son una constante en las áreas forestales, son componentes de estos ecosistemas e intervienen en la composición y desarrollo de los mismos, además de factores climáticos e incendios. En la actualidad, debido a las acciones humanas y el cambio climático han convertido a las enfermedades como las principales amenazas para las áreas forestales a nivel mundial (Dahlsjö, 2023).

Se considera que la diseminación de enfermedades principalmente es de los viveros de producción hacia las áreas forestales, esto significa que el establecimiento de plantas infectadas, es la principal causa de los brotes de fitopatógenos a nivel mundial (Rani *et al.*, 2019; Larsson *et al.*, 2023). La detección e identificación temprana de los fitopatógenos causantes de enfermedades fúngicas en viveros, puede reducir la dispersión de material infectado a otros sitios, esto puede minimizar la infección de otras especies vegetales en sitios aledaños a las plantaciones (Jain *et al.*, 2019; Gomdola *et al.*, 2022).

Las enfermedades se presentan en las plantas en distintas etapas de crecimiento, desde plántulas hasta adultas, lo que limitan su desarrollo, su rendimiento o aprovechamiento; en este contexto, los hongos son los principales agentes causantes de estas enfermedades (Nazarov *et al.*, 2020; Balla *et al.*, 2021). Las plántulas forestales tienden a ser más susceptibles a enfermedades fúngicas, las cuales, se presentan desde la emergencia de semillas hasta las siguientes etapas de crecimiento; estas enfermedades se consideran las de mayor importancia en viveros forestales (Larsson *et al.*, 2023).

En los viveros forestales, existe alta densidad de plantas, humedad excesiva, poca ventilación, aplicación indiscriminada de agroquímicos, entre otros; estos factores propician la aparición de fitopatógenos fúngicos nuevos o también denominados emergentes (Karunarathna *et al.*, 2021). Las enfermedades emergentes o reemergentes se presentan con mayor virulencia, severidad y gama de hospedantes, lo que causa una acelerada diseminación geográfica de las enfermedades. Éstas pueden impactar negativamente la seguridad alimentaria, además, el efecto del estrés biótico y abiótico generado por el cambio climático, que puede disminuir aún más la resistencia de las plantas hospedantes (Mwangi *et al.*, 2023).

El control de las enfermedades fúngicas se basa principalmente con el uso de fungicidas sintéticos (Tilocca *et al.*, 2020; Sánchez-Torres *et al.*, 2021; Kissekka, 2022). No obstante,

estos fungicidas afectan a organismos no objetivo, crean una consecuente contaminación ambiental, con efectos negativos a la salud humana y a la fauna benéfica; además, el desconocimiento de los hongos fitopatógenos incrementa el uso de estos productos químicos, lo que agrava la situación y causa selección de cepas fúngicas resistentes a los fungicidas (McLaughlin *et al.*, 2023). A pesar de sus desventajas, aún no podemos prescindir de los fungicidas por la eficacia que han demostrado en el control de los hongos patógenos y por décadas han mejorado la calidad y el rendimiento de los cultivos. En este sentido, no se puede descartar completamente el uso de estos fungicidas, pero podría optimizarse el uso con la aplicación de concentraciones acertadas y complementar el manejo de estos fitopatógenos con agentes biológicos. Así, la integración del control químico y biológico en el manejo de enfermedades, reduciría el uso no planificado de químicos sintéticos (Gordani *et al.*, 2023).

El control biológico a través del uso de microorganismos, es una estrategia para disminuir efectos adversos del empleo de fungicidas de síntesis química (Lahlali *et al.*, 2022); entre los microorganismos benéficos destaca el género *Trichoderma* que ha mostrado su efectividad, principalmente contra fitopatógenos. Desafortunadamente existen pocos reportes de su efectividad sobre fitopatógenos de plántulas forestales tropicales; por ejemplo, en viveros en Venezuela con problemas de *Fusarium solani*, realizaron aplicaciones de *T. harzianum* en plántulas de *Leucaena leucocephala*, *Cedrela odorata* y *Pithecellobium saman*, los resultados mostraron menores incidencias de plantas enfermas (Santana y Castellanos, 2013). *In vitro*, *T. harzianum* y *T. asperellum* mostraron contra *Fusarium solani* aislado de *Gmelina arborea*, efectos significativos en competencia y micoparasitismo (Chavarría-Vega y Carmona-Solís, 2016). En el estado de Yucatán, México, se han aislado e identificado cepas de *Trichoderma* con resultados promisorios como antagonistas de fitopatógenos en cultivos agrícolas. De este modo, en ensayos *in vitro* *T. asperellum* (Ta13-17) creció sobre *Corynespora cassicola*, *F. equiseti*, *F. oxysporum*, *Curvularia lunata* y *Alternaria alternata* alcanzando del 92.05 al 100 % de micoparasitismo (Celis-Perera *et al.*, 2021). *T. asperellum* (19-31) y *T. erinaceum* (10-15) inhibieron el 84.9 y 90.5 % respectivamente, el crecimiento micelial de *F. oxysporum*; adicionalmente las secuencias de nucleótidos de ambas cepas antagónicas mostraron valores de identidad superiores al 98 % con el gen *Epl1*, el cual, codifica proteínas involucradas en la regulación de la Resistencia Sistémica Adquirida en las plantas (Martínez-Canto *et al.*, 2021). Por lo anterior, se planteó el siguiente objetivo: Determinar los agentes causales de enfermedades fúngicas en raíz, tallo y follaje de *Cedrela*

odorata y *Swietenia macrophylla* provenientes de vivero y evaluar su control *in vitro* con fungicidas de síntesis química y con aislados nativos de *Trichoderma* spp.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Diagnóstico de hongos fitopatógenos en viveros de especies forestales tropicales

En México existe limitada información documentada sobre los agentes fúngicos que causan afectaciones en especies forestales tropicales en vivero, pero es visible las pérdidas que causan en la disminución de la producción y la calidad de las plántulas, lo que obliga al uso continuo de fungicidas de síntesis química. En este contexto, la producción de *C. odorata* y *S. macrophylla* en viveros del estado de Yucatán, es afectada por problemas fitosanitarios que causan pudriciones de sus raíces y tallos, lo que provoca la muerte de los mismos; a pesar de las pérdidas que ocasiona, aún se desconoce el o los agentes causales. Por otro lado, en el estado de Tabasco, para conocer la situación fitosanitaria de varias especies forestales utilizadas en la restauración de hábitats naturales de la entidad, se monitoreó en vivero la germinación y crecimiento de las plántulas; se asoció al género *Fusarium* como el principal causante de la muerte de plántulas en los semilleros, afectó a la mayoría de las especies pero fue más incidente en *C. odorata* y en *Roystonea regia*; también se detectó a *Curvularia lunata* afectando el área foliar de *Tabebuia rosea* (Sol et al., 2023).

En otros países, debido a la susceptibilidad que presentan las plántulas en vivero a las afectaciones causadas por hongos fitopatógenos, se realizó el diagnóstico de los agentes causales de cada enfermedad. En Perú, identificaron a *F. oxysporum* asociado con la marchitez y secadera de *Cedrela* sp. y *Tectona grandis*; además identificaron a *Armillaria* sp. asociado con la pudrición de raíz y cuello de plántulas de *Eucalyptus grandis*, a *Colletotrichum dematium* con la muerte regresiva en *Cedrela* sp. y *Cordia alliodora*, a *C. gloeosporioides* con la podredumbre de tallo y antracnosis en hojas de plántulas de *Guazuma crinita*, *Simarouba amara* y *E. urograndis*; con el diagnóstico, se mejoró el manejo de las enfermedades y las aplicaciones de los fungicidas fueron dirigidas al patógeno causal, lo que disminuyó su uso y su impacto en el ambiente (Delgado, 2009). En la India, derivado de la resistencia de los fitopatógenos por las aplicaciones frecuentes de fungicidas químicos, se identificó el agente causal de cada enfermedad en ocho viveros y encontraron como causantes de las royas a *Oliveae tectonae* y *Sphaceloma terminaliae* en plántulas de *T. grandis* y *Terminalia arjuna*, respectivamente, también identificaron a *Septoria arcuata* y *Fusicladium*

pongamiae como causantes de manchas negras en la superficie inferior de las hojas de *Ficus bengalehsis* y *Pongamia pinnata*, la información generada fue útil para rediseñar estrategias de control, disminuir pérdidas de la producción y reducir el empleo de fungicidas convencionales (Pathak *et al.*, 2015). En otro estudio se caracterizó a *Cercospora epicoccoides*, *C. gloeosporioides*, *C. truncatum*, *Oidium jacarandigena* y *Erysiphe sesbaniae*, los cuales, afectaron el follaje de *E. camaldulensis*, *E. viminalis*, *Ceiba speciosa*, *Jacaranda mimosifolia* y *Sesbania punicea*, respectivamente, con base a los resultados, se implementó el manejo integrado de estas enfermedades para garantizar el establecimiento en campo de plantas sanas (Acosta, 2018). En Costa Rica, en plantaciones de *Gmelina arborea* identificaron a *F. solani* como causante de la muerte descendente de esta especie forestal (Chavarría-Vega y Carmona-Solís, 2016); en la misma entidad, se implementó el manejo de cuencas hidrográficas con programas de reforestación; para ello se establecieron viveros y priorizaron la sanidad de las plantas mediante el diagnóstico sanitario en cada vivero, disminuyendo así, el costo del manejo de las enfermedades al minimizar el uso de fungicidas de síntesis química. Los agentes fitopatológicos causantes de síntomas foliares que identificaron fueron: *Alternaria* sp. en *C. pentandra*, *Tabebuia chrysantha* y *T. rosea*; *Phomopsis* en *Acrocarpus fraxinifolia*, *Pestalotiopsis* en *Zygia longifolia*, *Cercospora rangita* en *G. arborea*, *Cladosporium* sp. y *Curvularia* sp. en *Enterolobium cyclocarpum*, *T. rosea* y *T. chrysantha*, *Phyllacora balansae* en *C. odorata* y *Swietenia macrophylla*, *Botrytis* sp. y *Cylindrocladium* sp. en el ápice de *E. cinerea* y *E. deglupta*, (Arguedas *et al.*, 2020). En Kerala, India, para desarrollar estrategias de control caracterizaron los patógenos fúngicos que afectan a las plántulas de *Tectona grandis* en vivero; se encontró a *F. solani* como causante de la pudrición de raíz (enfermedad radicular más agresiva de esta especie forestal), a *Curvularia eragrostidis*, *C. gloeosporioides*, *Alternaria alternata*, entre otras, como causantes de manchas foliares (Kiran *et al.*, 2021). En Pakistán, *E. camaldulensis* es susceptible al ataque de varios fitopatógenos, pero *F. oxysporum* es el responsable de la marchitez de las plantas en vivero (Ahmad *et al.*, 2024). Lo anterior, señala al género *Fusarium*, como agente causal de pudrición de raíz, marchitez, muerte descendente de diversas especies forestales tropicales en vivero y en plantaciones. *Fusarium* spp., en regiones tropicales y subtropicales está presente en diversos nichos ecológicos, como saprófito, endófito o patógeno y por su capacidad para tolerar distintos rangos de temperatura,

los efectos del cambio climático pueden incrementar su adaptabilidad y patogenicidad (Admas y Kebede, 2024).

1.2.2. *Trichoderma* spp. como agente de biocontrol sobre hongos fitopatógenos

En las últimas décadas el género *Trichoderma* sobresale como una opción potencial para controlar diversos hongos fitopatógenos, es cosmopolita, habitante natural de suelos, donde tiene comportamiento saprófito o endófito, es un biocontrolador por sus mecanismos directos e indirectos. La eficiencia de varias especies de *Trichoderma*, se deben a su habilidad de tolerar condiciones adversas, rápido crecimiento, facilidad para reproducirse, competencia en el uso de nutrientes, capacidad para producir metabolitos promotores de crecimiento o inductores de mecanismos de defensa en las plantas (Companioni *et al.*, 2019; Zin y Badaluddin, 2020; Matas-Baca *et al.*, 2023).

El principal mecanismo reportado de acción directa que inhibe la sobrevivencia de los hongos fitopatógenos es la competencia por espacio y nutrientes, en este proceso sobresale la plasticidad ecológica de *Trichoderma*; como saprófito habita en varios tipos de sustratos donde compite por nutrientes de forma directa, la secreción de metabolitos secundarios, su tasa de crecimiento y esporulación, le permite competir con otros organismos que carecen de estas capacidades y suprimir su desarrollo (Companioni *et al.*, 2019; Matas-Baca *et al.*, 2023). Al evaluar *in vitro* el efecto de *T. harzianum* y *T. asperellum* en el control de *Fusarium solani* aislado de *Gmelina arborea*, se encontró que ambas cepas antagonicas alcanzaron valores superiores al 50 % de inhibición del crecimiento radial del patógeno (Chavarría-Vega y Carmona-Solís, 2016).

El micoparasitismo, es el modo de acción más importante que presentan las especies de *Trichoderma* contra hongos patógenos de plantas; este proceso inicia con el reconocimiento entre *Trichoderma* y el patógeno, el cual, ocurre con la unión de carbohidratos localizados en la pared celular de *Trichoderma* a las lectinas de la pared celular del patógeno, lo que conlleva al contacto exitoso entre hifas. Inmediatamente las hifas de *Trichoderma* se adhieren y enrollan a las hifas del fitopatógeno, y en sus extremos se forman estructuras parecidas a los apresorios, que sirven para penetrar la pared celular del hongo objetivo. Por último, ocurre la lisis, en esta fase el antagonista produce enzimas líticas como celulasas, hemicelulasas, quitinasas, glucanasas, proteasas, etc., según la especificidad del aislado; estas enzimas hidrolizan la pared celular del fitopatógeno para que las hifas del antagonista penetren y se

alimento del contenido citoplasmático de las células del hospedante (Companioni *et al.*, 2019; Sood *et al.*, 2020). En estudios con cultivos duales de *T. harzianum* y *T. asperellum* frente a *F. solani*, se observó que *T. asperellum* alcanzó el grado 4 de micoparasitismo (cubrió totalmente al patógeno y esporuló sobre él), mientras *T. harzianum* logró el grado 3 (cubrió totalmente al patógeno). En ambas especies de *Trichoderma* se observó un entrelazamiento con las hifas de *F. solani*, mostrando diferencias en la capacidad antagónica entre cepas de *Trichoderma* (Chavarría-Vega y Carmona-Solís, 2016).

La antibiosis, es otro mecanismo de *Trichoderma*, que consiste en suprimir o reducir el crecimiento de fitopatógenos mediante la producción de compuestos antimicrobianos (metabolitos secundarios). Se han caracterizado especies de *Trichoderma* que inhiben el desarrollo, esporulación y germinación de diversos hongos patógenos, mediante la secreción de compuestos, como peptaiboles, policétidos y terpenos (Sood *et al.*, 2020). Estos compuestos pueden ser volátiles o no volátiles y se clasifican de acuerdo a su función en: metabolitos que actúan en la competencia, metabolitos quelantes de hierro, metabolitos con actividad antibiótica, metabolitos que promueven el crecimiento vegetal o inducen la defensa en las plantas. Se han reportado diversos metabolitos en varias especies de *Trichoderma*; por ejemplo, en *T. harzianum* y *T. virens* se identificaron azafilonas, viridinas, terpenos volátiles, harzianopiridona y ácido harziánico; en *T. koningii*, koningininas y en *T. virens*, trichodermamidas; en *T. viridae*, trichocelinas, trichodeceninas, trichorovinas, trichotoxinas; en *T. longibrachiatum*, tricholonginas; en *T. asperellum*, la 6-pentil- α -pirona, trichodermaerina, peptaiboles (asperelina), alcaloides y terpenos (Sood *et al.*, 2020; Guzmán-Guzmán *et al.*, 2023; Celis-Perera *et al.*, 2026).

1.2.3. Fungicidas de síntesis química utilizados para el control de hongos fitopatógenos

La principal estrategia para el manejo de las enfermedades fúngicas de las especies forestales en vivero es el control químico (Kisekka, 2022). Durante décadas, se han utilizado los fungicidas de síntesis química para proteger a los cultivos, en la actualidad se ha incrementado su uso para mejorar el rendimiento o aprovechamiento de los cultivos y de esta manera satisfacer el comercio mundial (Duarte *et al.*, 2023).

De acuerdo a su modo de acción, algunos fungicidas de síntesis química pueden actuar específicamente en los componentes de la membrana celular, la transducción de señales, la respiración, la división celular o en la síntesis de ácidos nucleicos, en cambio, otros presentan

actividad multisitio; Los fungicidas inhiben o alteran procesos bioquímicos o estructuras específicas de los hongos, como los esteroides, componentes esenciales de la membrana celular (Ul *et al.*, 2020), que mantienen su estructura, fluidez y permeabilidad (Jordá y Puig, 2020), entre éstos, el ergosterol presente exclusivamente en los hongos, se convierte en el objetivo central de los fungicidas; lo que sugiere que se puede alterar la vía de síntesis del ergosterol sin afectar las células humanas (Song *et al.*, 2025). Entre los grupos de fungicidas que inhiben o alteran la ruta del ergosterol se encuentran los imidazoles, triazoles, piridinas, entre otros (FRAC, 2024). El procloraz, perteneciente al grupo de los imidazoles se emplea con éxito en la supresión de la patogenicidad de especies del género *Fusarium* (Masiello *et al.*, 2019; Ortiz-Martínez *et al.*, 2022).

En lo que se refiere a la señalización celular, este proceso en los hongos es mediada por la vía de la quinasa, proteína activada por mitógenos; proceso necesario para responder a estímulos ambientales y a la transmisión intracelular de señales, los fungicidas que afectan la señalización osmótica, retardan la diferenciación celular y se refleja afectando el crecimiento fúngico ya que interfieren en la germinación de esporas, desarrollo del tubo germinativo o en el crecimiento micelial; en este sentido, dos grupos de fungicidas los fenilpirroles (fludioxonil) y dicarboxamidas (iprodiona) se caracterizan por afectar directamente la vía de la transducción de señales osmóticas en los hongos (Ul *et al.*, 2020; FRAC, 2024).

Otro proceso bioquímico objetivo de los agentes antifúngicos, es la cadena respiratoria mitocondrial. Dado que la respiración se desarrolla en etapas complejas, existen fungicidas que interfieren en un complejo específico. Los fungicidas inhibidores del complejo I interrumpen la respiración al retardar la oxidación-reducción de la NADH deshidrogenasa; por ejemplo, la diflumetorima afecta todos los procesos de formación de la membrana celular y por consiguiente afecta la respiración celular, este fungicida es eficaz para el control del oídio y la roya en cultivos ornamentales (Ul *et al.*, 2020; FRAC, 2024). Otros como el boscalid, carboxin, oxycarboxin y flutolanil, actúan en el bloqueo del succinato deshidrogenasa (SDH), mediador del complejo II que participa en dos procesos metabólicos interconectados para la producción de energía: la transferencia de electrones en la cadena respiratoria mitocondrial y la oxidación del succinato a fumarato en el ciclo de Krebs; cuando la SDH se inhibe por el uso de los fungicidas se reduce la respiración y el crecimiento fúngico (Ul *et al.*, 2020; Duarte *et al.*, 2023; FRAC, 2024). Algunos inhibidores del complejo III

(citocromo bc1), como el azosystrobin, pyraclostrobin y trifloxystrobin interfieren en la transferencia de electrones en la cadena respiratoria mitocondrial. Estos fungicidas inhiben la germinación de esporas de *Cercospora* sp., *Alternaria* sp. y *Septoria* sp. (Ul *et al.*, 2020; FRAC, 2024).

Otros fungicidas causan la muerte de diversos hongos fitopatógenos al interrumpir la división celular en diferentes etapas impidiendo su reproducción; inhiben los procesos donde los dímeros de tubulina reaccionan entre sí para formar polímeros de microtúbulos, los cuales, son fundamentales en la mitosis, ya que durante la división celular son los responsables de formar el huso mitótico; estructura que separa a los cromosomas. Al respecto, se utilizan los bencimidazoles (carbendazim, benomilo y tiabendazol), estos afectan el ensamble de la tubulina en la formación de microtúbulos y son conocidos por inhibir la mitosis en el género *Fusarium* (Ul *et al.*, 2020; Bai *et al.*, 2024; FRAC, 2024).

Por otro lado, los fungicidas con modo de acción multisitio, inducen un nivel bajo de resistencia, son fungicidas de contacto preventivos. Entre los más utilizados se encuentran: el mancozeb que inhibe el metabolismo de las células objetivo; el clorotalonil que reduce la actividad enzimática y bloquea la transformación de la enzima glutatión en sus diversas estructuras, el cual es clave para la defensa de los fitopatógenos fúngicos ante el estrés oxidativo (Ul *et al.*, 2020; FRACC, 2024).

Los fungicidas de síntesis química, suelen ser menos costosos que los fungicidas orgánicos y por su rápida efectividad han permanecido como la primera opción en el control de enfermedades fúngicas. Desafortunadamente, su uso irracional afecta a grupos de microorganismos no objetivo, contaminan el suelo, el agua, el aire y son perjudiciales a la salud humana.

1.2.4. Situación de la producción de planta forestal tropical

La integridad de los ecosistemas forestales se encuentra en riesgo, derivado de los efectos del cambio climático, que también, ha desencadenado otros problemas como la inseguridad alimentaria, la falta de agua y la pérdida de la biodiversidad, etc. (Abbass *et al.*, 2022). Si se considera, que la capacidad de los árboles y en conjunto los ecosistemas forestales son los principales captadores de carbono, se hace necesaria acciones de restauración y conservación como posibles soluciones para minimizar los efectos del cambio climático (Seddon *et al.*, 2020); sin perder de vista que las especies arbóreas al ser componentes de los sistemas

agroforestales, aportan materia orgánica, mantienen la humedad y minimizan la erosión del suelo, estos servicios son esenciales para el desarrollo de los cultivos (Barrios *et al.*, 2018; Saducos *et al.*, 2024)

A nivel nacional en el periodo del 2013-2021, se produjeron al menos 1000 millones de plantas forestales entre especies de clima templado, de zonas áridas y tropicales; en el estado de Yucatán se produjeron en viveros al menos 10 millones. Éstas, se utilizaron para cumplir con programas de restauración y conservación. Las principales especies producidas fueron *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla*, los cuales, representaron el 40 % de esta producción forestal, en menor porcentajes se produjeron: *Tabebuia rosea*, *Brosimum alicastrum*, *Cordia dodecandra*, *Ehretia tinifolia*, *Enterolobium cyclocarpum*, entre otros, (SNIGF, 2021). En este sentido, los productores de áreas agrícolas, dueños o poseedores de terrenos forestales en sus actividades de restauración consideraron especies de funciones ecológicas y económicas para tener un aprovechamiento comercial a largo plazo; entre estas sobresalieron *S. macrophylla* y *C. odorata*, además de los servicios ambientales que proporcionan, son consideradas las dos especies forestales tropicales representativos de la industria maderable en México (Hernández-Ramos *et al.*, 2020; Gálvez *et al.*, 2020).

En el estado de Yucatán, la producción de plantas forestales es la base para cubrir las necesidades de restauración y contribuye en la recuperación de la cobertura forestal, sin embargo, en la producción inicial de viveros, prevalece el uso indiscriminado de fungicidas químicos, ya que es la principal alternativa para resolver la problemática ocasionada aparentemente por hongos fitopatógenos (Kisekka, 2022). En visitas realizadas a viveros de la región, los productores expresaron la dependencia a los fungicidas químicos para contrarrestar el desarrollo de hongos patógenos que afectan a las plántulas en vivero. También indicaron que, al no emplear este método de control, las pérdidas de producción por estos patógenos alcanzan del 30 a 50 %, enfatizaron que el desconocimiento de los agentes causales y la falta de otras alternativas de control los obliga a incrementar las aplicaciones y las dosis de estos productos de síntesis química. Desafortunadamente es escasa la información que existe, referente a las enfermedades fúngicas que afectan las especies forestales producidas en esta región tropical del país, debido en parte, a la falta de especialistas y recursos financieros que se han canalizado a especies de clima templado. Lo anterior evidencia la necesidad, de determinar los agentes causales de enfermedades de

etiología fúngica en las especies tropicales en vivero y evaluar alternativas biológicas de control que disminuyan el empleo del control químico.

1.3. Hipótesis

Las pudriciones de raíces y tallos en *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* en vivero son causadas por el género *Fusarium*, mientras que los síntomas en el follaje son por *Colletotrichum* y el control *in vitro* de estos hongos fitopatógenos es efectivo con fungicidas de síntesis química y con aislados nativos de *Trichoderma* spp.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar los agentes causales de enfermedades fúngicas en raíz, tallo y follaje de *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* provenientes de vivero y evaluar su control *in vitro* con fungicidas de síntesis química y con aislados nativos de *Trichoderma* spp.

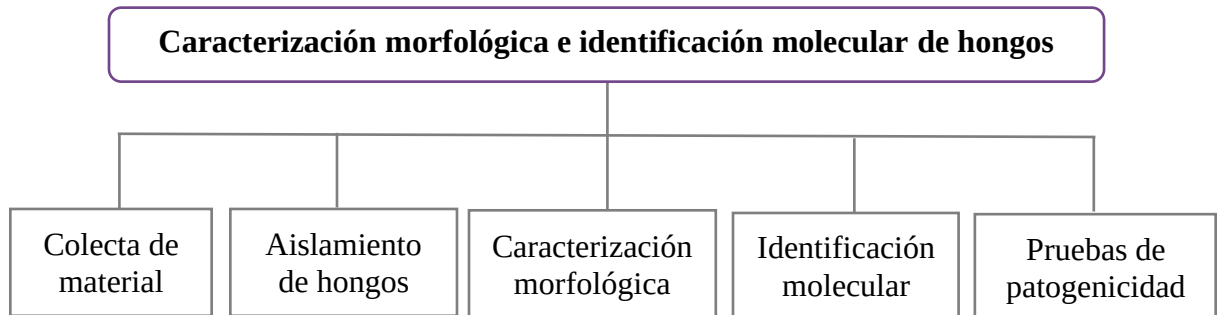
1.4.2. Objetivos específicos

Identificar por características morfológicas y técnicas moleculares los hongos fitopatógenos aislados de enfermedades en raíz, tallo y follaje de *C. odorata* y *S. macrophylla*.

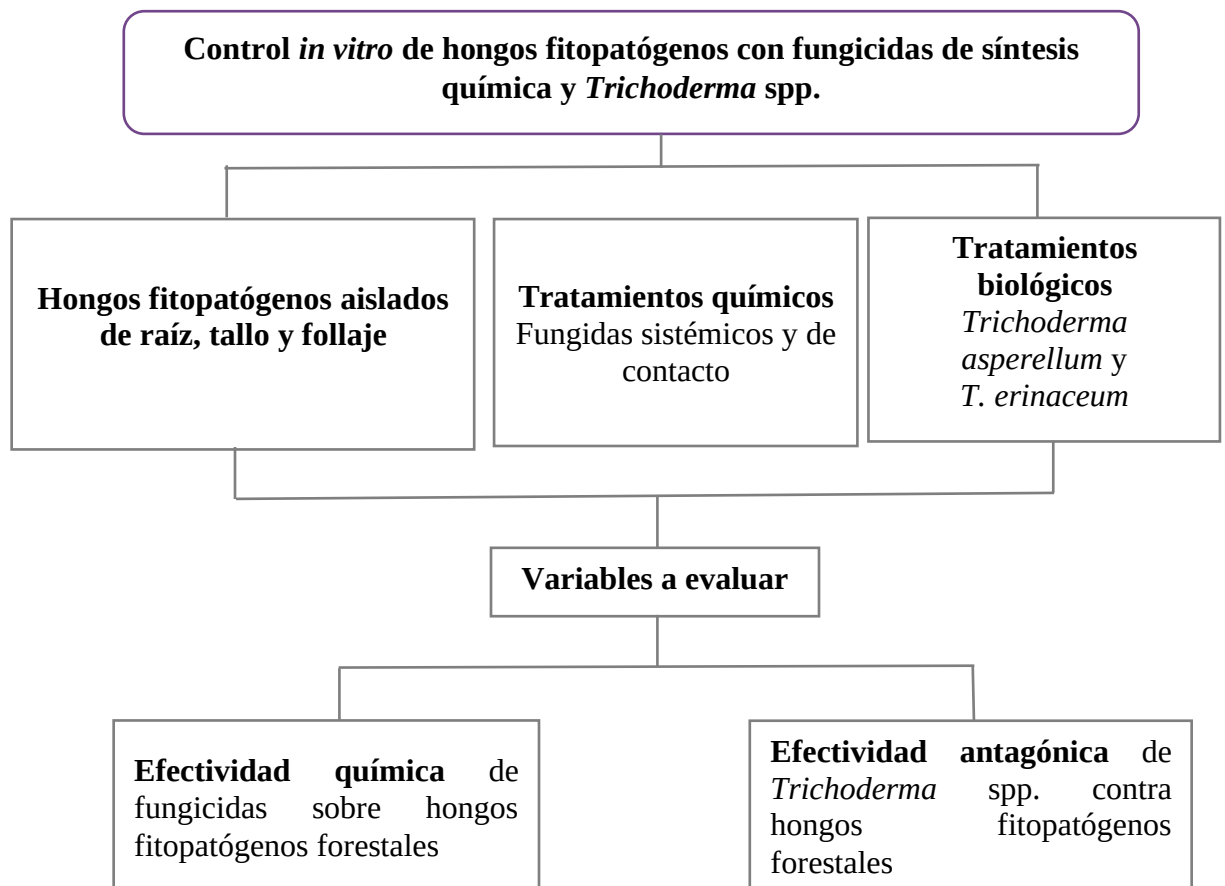
Evaluar *in vitro* la efectividad de fungicidas de síntesis química y el antagonismo de *T. erinaceum* y *T. asperellum* sobre hongos fitopatógenos aislados de *C. odorata* y *S. macrophylla*.

1.5. Procedimiento experimental

Primera fase:



Segunda fase:



1.6. Literatura citada

- Abbass K, Qasim MZ, Song H, Murshed M, Mahmood H, Younis I. 2022. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research* 29: 42539-42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Acosta NR. 2018. Identificación de enfermedades en las especies forestales producidas en la Unidad de vivero forestal de la facultad de ciencias agrarias y forestales – UNLP. Tesis. pp 1-53.
- Admas AM, Kebede L. 2024. Effects of *Fusarium* diseases on forest nursery and its controlling mechanisms. In Abdurakhmonov IY (ed.), *Fusarium-Recent studies*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1004156>
- Ahmad I, Mazhar K, Atiq M, Khalaf AK, Rashid MHU, Asif M, Ahmed S, Adil Z, Fayyaz A, Al-Sadoon MK, Al-Otaibi HS. 2024. Epidemiology and management of *Fusarium* wilt of *Eucalyptus camaldulensis* through systemic acquired resistance. *PeerJ*. 12: e170221. DOI 10.7717/peerj.17022
- Arguedas Gamboa M, Rodríguez-Solís M, Cots Ibiza J, Martínez Araya A. 2020. Inventario de plagas y enfermedades en viveros forestales en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 18 (42): 17-29. <http://dx.doi.org/10.18845/rfmk.v16i42.5543>
- Bai S, Zhang M, Tang S, Li M, Wu R, Wan S, Chen L, Wei X, Li F. 2024. Research progress on benzimidazole fungicides: A review. *Molecules* 29: 1218. <https://doi.org/10.3390/molecules29061218>
- Balla A, Silini A, Cherif-Silini H, Chenari Bouket A, Moser WK, Nowakowska JA, Oszako T, Benia F, Belbahri L. 2021. The threat of pests and pathogens and the potential for biological control in forest ecosystems. *Forests* 12: 1579. <https://doi.org/10.3390/f12111579>
- Barrios E, Valencia V, Jonsson M, Brauman A, Hairiah K, Mortimer PE, Okubo S. 2018. Contribution of trees to the conservation of biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management* 14 (1): 1-16. <https://doi.org/10.1080/21513732.2017.1399167>
- Celis-Perera SE, Moo-Koh FA, 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): 1-7.
- Celis-Perera SE, Cristóbal-Alejo J, Medina-Baizabal IL, Gamboa-Angulo M. 2026. Extractos y metabolitos antifúngicos de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg con potencial aplicación en el control de fitopatógenos agrícolas. Terra Latinoamericana. 44: e2308. <https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v44i.2308>
- Chavarría-Vega M, Carmona-Solís R. 2016. Efecto de microorganismos antagonistas en el control de la enfermedad denominada “Nectria” en la melina *Gmelina arborea* Roxb. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 13 (2): 21-29. <http://doi:10.18845/rfmk.v0i0.2549>
- Companioni GB, Domínguez AG, García VR. 2019. *Trichoderma*: su potencial en el desarrollo sostenible de la agricultura. Biotecnología Vegetal 19 (4): 237-248.
- Dahlsjö CAL. 2023. Strategies to manage tree pest and disease outbreaks: a balancing act. BMC Ecology and Evolution 23: 70. <https://doi.org/10.1186/s12862-023-02184-0>
- Delgado LE. 2009. Identificación de agentes causantes de enfermedades en plántulas forestales, en Fondebosque - Juan Guerra- San Martín. Tesis. Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto, Perú. pp 3-95.
- Duarte HC, Tete A, Debizet K, Immler J, Tomkiewicz-Raulet C, Blanc EB, Barouki R, Coumoul X, Bortoli S. 2023. SDHi fungicides: An example of mitotoxic pesticides targeting the succinate dehydrogenase complex. Environment International 180: 108219. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108219>
- FRAC (Fungicide Resistance Action Committee). 2024. Fungal control agents by cross resistance pattern and mode of action. (Consultado: enero 2026).
- Gálvez LL, Vallejo MAR, Méndez CE, López JU. 2020. *Cedrela odorata* L.: oportunidades para su conservación y mejoramiento genético. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 11 (58): 1-22. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.622>
- Gomdola D, Bhunjun CS, Hyde KD, Jeewon R, Pem D, Jayawardena RS. 2022. Ten important forest fungal pathogens: a review on their emergence and biology. Mycosphere 13 (1): 612-671. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/13/1/6>
- Guzmán-Guzmán P, Kumar A, de los Santos-Villalobos S, Parra-Cota FI, Orozco-Mosqueda MC, Fadiji AE, Hyder S, Babalola OO, Santoyo G. 2023. *Trichoderma* species: Our

- best fungal allies in the biocontrol of plant diseases-A review. *Plants* 12: 432. <https://doi.org/10.3390/plants12030432>
- Gordani A, Hijazi B, Dimant E, Degani O. 2023. Integrated biological and chemical control against the maize late wilt agent *Magnaporthe oryzae*. *Soil Systems* 7(1). <https://doi.org/10.3390/soilsystems7010001>
- Hernández-Ramos J, Valdez-Hernández JI, García-Cuevas X, Tadeo-Noble AE, Reyes-Hernández VJ. 2020. Estimación de la edad de *Swietenia macrophylla* (Meliácea) a partir del diámetro normal en poblaciones del sureste mexicano. *Biología Tropical* 68 (1): 200-217. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68i1.37725>
- Jain A, Sarsaiya S, Wu Q, Lu Y, Shi J. 2019. A review of plant leaf fungal diseases and its environment speciation. *Bioengineered* 10 (1): 409-424. <https://doi.org/10.1080/21655979.2019.1649520>
- Jordá T, Puig S. 2020. Regulation of ergosterol biosynthesis in *Saccharomyces cerevisiae*. *Genes* 11: 795. <https://doi.org/10.3390/genes11070795>
- Karunarathna SC, Maharachchikumbura SSN, Ariyawansa HA, Shenoy BD, Jeewon R. 2021. Editorial: Emerging fungal plant pathogens. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 11: 765549. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.765549>
- Kiran M, Gopakumar S, Reshmy V, Vidyasagaran K. 2021. Documentation and characterization of fungal diseases in nursery seedlings of teak (*Tectona grandis* L.f.) in Kerala, India. *Indian Phytopathology*. <https://doi.org/10.1007/s42360-021-00333-3>
- Kisekka R. 2022. Major diseases of nursery forestry tree seedlings in Uganda. National agricultural research organization. doi:10.13140/RG.2.2.28919.09125
- Lahlali R, Ezrari S, Radouane N, Kenfaoui J, Esmaeel Q, El Hams H, Belabess Z, Barka A. 2022. Biological control of plant pathogens: A global perspective. *Microorganisms* 10: 596. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10030596>
- Larsson R, Menkis A, Skogstrom O, Espes C, Karin E, Mohlin B, Olson A. 2023. The development of foliar fungal communities of nursery-grown *Pinus sylvestris* seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 38: 513-528. <https://doi.org/10.1080/02827581.2023.2277745>

- Martínez-Canto OJ, Cristóbal-Alejo J, Tun-Suarez JM, Reyes-Ramírez A. 2021. Detección de genes *Epl1* y *Sm1* en *Trichoderma* spp. antagonistas contra hongos fitopatógenos. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 8 (2). <http://orcid.org/0000-0003-2348-5146>
- Masiello M, Somma S, Ghionna V, Logrieco AF, Moretti A. 2019. *In vitro* and in field response of different fungicides against *Aspergillus flavus* and *Fusarium* species causing ear rot disease of maize. Toxins 11:11. <https://doi.org/10.3390/toxins11010011>
- Matas-Baca MA, Flores-Córdova MA, Pérez-Álvarez S, Rodríguez-Roque MJ, Salas-Salazar NA, Soto-Caballero MC, Sánchez-Chávez E. 2023. *Trichoderma* fungi as an agricultural biological control in Mexico. Revista Chapingo Serie Horticultura 29 (3): 79-114. <https://doi.10.5154/r.rchsh.2022.11.015>
- McLaughlin MS, Roy M, Abbasi PA, Carisse O, Yurgel SN, Ali S. 2023. Why do we need alternative methods for fungal disease management in plants? Plants 12: 3822. <https://doi.org/10.3390/plants12223822>
- Mwangi RW, Mustafa M, Charles K, Wagara IW, Kappel N. 2023. Selected emerging and reemerging plant pathogens affecting the food basket: A threat to food security. Journal of Agriculture and Food Research 14: 100827. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100827>
- Nazarov PA, Baleev DN, Ivanova MI, Sokolova LM, Karakozova. 2020. Infectious plants diseases: Etiology, current status, problems and prospects in plant protection. Acta Naturae 12 (3). <https://doi.10.32607/actanaturae.11026>
- Ortiz-Martínez LE, Robles-Yerena L, Leyva-Mir SG, Camacho-Tapia M, Juárez-Rodríguez L. 2022. *Fusarium* sp., causal agent of vascular wilt in citrus and its sensitivity to fungicides. Mexican Journal of Phytopathology 40 (1): 1-17. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2106-3>
- Pathak H, Saurabh M, Satya HN, Silawat SC. 2015. Fungal diseases of trees in forest nurseries of Indore, India. Journal Plant Pathology and Microbiology 6: 297 <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7471.1000297>
- Rani A, Donovan N, Mantri N. 2019. Review: The future of plant pathogen diagnostics in a nursery production system. Biosensors and Bioelectronics. 145: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.111631>

- Saducos AG. 2024. Litterfall variation and soil nutrient dynamics in *Swietenia macrophylla*, *Samanea saman* and *Bambusa blumeana* woodstands: Implications for nutrient cycling and soil fertility. *Plant Science Today* 11 (4): 1582-1587. <https://doi.org/10.14719/pst.3231>
- Sánchez-Torres P. 2021. Molecular mechanisms underlying fungicide resistance in citrus postharvest green mold. *Journal of Fungi*. 7(783): 1-18. <https://doi.org/10.3390/jof7090783>
- Santana DT, Castellanos GL. 2013. Efecto biocontrolador de *Trichoderma harzianum* rifai sobre *Fusarium* spp. en *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. (leucaena), *Cedrela odorata* L. (cedro) y *Phitecellobium saman* (Jacq.) Merr. *Agroecosistemas* 1(2): 165-172.
- Seddon N, Chausson A, Berry P, Girardin CAJ, Smith A, Turner B. 2020. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions Royal Society B*. 375: 20190120 <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
- SNIGF (Sistema Nacional de Información y Gestión Forestal). 2021. Comisión Nacional Forestal. <https://old-snigf.cnf.gob.mx/categoria-producto/noticias-del-sector-forestal/>. (Consultado: enero 2021)
- Sol SA, Hernández Melchor GI, Sánchez GF. 2023. Main pest and diseases in tropical forest species in nursery. In Bellé C. (ed.), *Current and emerging challenges in the diseases of trees*. Intechopen: Londres, Reino Unido, pp: 77-87. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.107028>
- Song L, Wang S, Zou H, Yi X, Jia S, Li R, Song J. 2025. Regulation of ergosterol biosynthesis in pathogenic fungi: Opportunities for therapeutic development. *Microorganisms* 13: 862. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13040862>
- Sood M, Kapoor D, Kumar V, Sheteiwy MS, Ramakrishnan M, Landi M, Araniti F, Sharma A. 2020. *Trichoderma*: The “secrets” of a multitasking biocontrol agent. *Plants* 9: 762. <https://doi.org/10.3390/plants9060762>
- Tilocca B, Cao A, Migueli Q. 2020. Scent of killer: Microbial volatiles and its role in the biological control of plant pathogens. *Frontiers in Microbiology*. 11: 41. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00041>

- Ul Haq I, Sarwar MK, Faraz A, Latif MZ. 2020. Historical prospective of chemicals for plant disease control. *In* Ul Haq I, S Ijaz (eds.), Plant disease management strategies for sustainable agriculture through traditional and modern approaches, sustainability in plant and crop protection 13. Springer; Switzerland, pp: 53-81. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35955-3_4
- 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>

II. CAPÍTULO 2. *Fusarium solani* asociado a *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* y su sensibilidad a fungicidas convencionales

Lorenza Caamal Eb, Jairo Cristóbal Alejo*, José María Tun Suárez, Arturo Reyes Ramírez, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Conkal, Av. Tecnológico s/n. Conkal, Yucatán; **Alberto Uc Vázquez,** Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. Tablaje Catastral 31264 Km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburna Puerto Parque Científico Tecnológico de Yucatán CP: 97302 Mérida, Yucatán; **Silvia Edith García Díaz,** Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Km 38.5 carretera México-Texcoco. C.P. 56230. Texcoco, Estado de México.

Publicado en: Revista Mexicana de Fitopatología 42(3): 27.

DOI: <https://doi.org/10.18781/R. MEX.FIT.2405-5>

2.1 RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. En el estado de Yucatán, México, en los últimos cinco años se produjeron 10 millones de plantas forestales para diversas acciones de conservación y restauración. Las principales limitantes en la producción de estas plantas en vivero, son las enfermedades inducidas por *Fusarium* spp., que causan pudriciones de tallo y raíz y pérdidas de producción de plantas hasta el 50%. El objetivo del trabajo fue identificar el agente causal asociado con la pudrición y necrosis de tallo y raíz de cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) y su sensibilidad *in vitro* a fungicidas convencionales.

Materiales y Métodos. Se colectaron plantas de *C. odorata* y *S. macrophylla* de tres y seis semanas de germinación, respectivamente, con síntomas de necrosis y pudrición indicados; de donde se obtuvieron cinco aislados fúngicos y se identificaron morfológica y molecularmente. Se determinó *in vitro* por el método de microdilución, la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) de esporas y la Concentración Mínima Letal (CML) de seis fungicidas convencionales de aplicación recurrente en la región (Procloraz, Carbendazim, Benomilo, Fosetyl Al, Captan y Mancozeb) y validar su efectividad y viabilidad en el manejo de esta problemática.

Resultados. La morfología y secuencias moleculares de los aislados, fueron similares a las reportadas para *Fusarium solani*. La CMI de las esporas de *F. solani* para Procloraz, Carbendazim, Benomilo, Captan y Mancozeb fueron de 2.44, 11.38, 14.06, 7.81 y 7.81 ppm, respectivamente; Fosetyl Al, no inhibió la germinación de esporas ya que se observó crecimiento micelial normal del hongo en las concentraciones evaluadas.

Conclusión. El Procloraz y el Mancozeb, tuvieron la menor CML con 2.44 y 7.81 ppm, respectivamente.

Palabras clave: cedro, caoba, pudrición de raíces, vivero, control químico.

III. CAPÍTULO 3. Antracnosis foliar en *Swietenia macrophylla* causada por especies de *Colletotrichum* y escala logarítmica diagramática de severidad

Leaf anthracnose on *Swietenia macrophylla* caused by *Colletotrichum* species and diagrammatic logarithmic scale of severity

Lorenza Caamal Eb¹, Silvia Edith García Díaz³, Jairo Cristóbal Alejo^{1*},
Alberto Uc Vázquez², José María Tun Suárez¹, Arturo Reyes Ramírez¹

¹ Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Conkal. Av. Tecnológico s/n. Conkal, Yucatán, México.

² Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. Tablaje Catastral 31264 Km 5.5, carretera Sierra Papacal-Chuburna Puerto, Parque Científico Tecnológico de Yucatán CP: 97302 Mérida, Yucatán.

³ Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Km 38.5 carretera México-Texcoco, C.P. 56230, Texcoco, Estado de México, México.

Publicado en: Revista Biotecnia, 28: 2805

DOI: <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v28.2805>

3.2 RESUMEN

Swietenia macrophylla, es la especie forestal con mayor aprovechamiento comercial en el sureste de México. En los agroecosistemas tropicales por su crecimiento rápido y alto contenido foliar, contribuye con la aportación de materia orgánica, evita la erosión del suelo y reduce la evaporación del agua. En el estado de Yucatán, México, la producción de *S. macrophylla* en vivero, se destina para fines de restauración, reforestación o incorporación en los agroecosistemas. El objetivo fue determinar el agente causal de la antracnosis foliar en *S. macrophylla* y elaborar una escala logarítmica diagramática para evaluar su severidad. Durante el año 2023, en dos viveros del estado de Yucatán, se colectaron muestras foliares de *S. macrophylla* con síntomas de antracnosis, de los cuales, se obtuvieron cinco aislados correspondientes a dos grupos fúngicos, mediante características morfológicas y amplificación de las regiones ITS y TEF-1 α se identificaron como *Colletotrichum*

gloeosporioides y *C. truncatum*. Las pruebas de patogenicidad, confirmaron a estas especies de hongos, los causantes de la antracnosis en *S. macrophylla*. Se generó la escala logarítmica diagramática con 7 clases, los resultados de la exactitud y precisión validaron su reproducibilidad y su uso para estimar la severidad en el patosistema *S. macrophylla* - *Colletotrichum* spp.

Palabras clave: Planta forestal; hongos fitopatógenos; caracterización morfológica; identificación molecular; patogenicidad;

IV. CAPÍTULO 4. *Neopestalotiopsis* spp.: Patógenos emergentes causantes de mancha foliar en *Swietenia macrophylla* en Yucatán, México

Artículo en borrador

Lorenza **Caamal-Eb**¹, Jairo **Cristóbal-Alejo**¹, Silvia Edith **García-Díaz**³, Alberto **Uc-Vázquez**², José María **Tun-Suárez**¹, Arturo **Reyes-Ramírez**¹

¹Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Conkal. Av. Tecnológico s/n. Conkal, Yucatán, México. C. P. 97435.

²Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. Tablaje Catastral 31264 Km 5.5, carretera Sierra Papacal-Chuburna Puerto, Parque Científico Tecnológico de Yucatán, Mérida, Yucatán. C. P. 97302.

³Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Km 38.5 carretera México-Texcoco, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230.

Nombre del estudiante: Lorenza Caamal Eb

Correo: D031002692@conkal.tecnm.mx

Nombre del director de tesis: Jairo Cristóbal Alejo

Correo: jairo.ca@conkal.tecnm.mx

4.1 RESUMEN

En el estado de Yucatán, México, la producción de *Swietenia macrophylla* se mantiene constante. Se utiliza en los programas de reforestación o restauración de áreas degradadas y para su incorporación en los agroecosistemas. Sin embargo, la producción en vivero, favorece las condiciones para la aparición de nuevos fitopatógenos, lo que limita el crecimiento de las plantas. Las enfermedades causadas por fitopatógenos de reciente aparición, con frecuencia son de mayor incidencia, virulencia, gama de hospedantes y diseminación geográfica. El objetivo del trabajo, fue identificar mediante características morfotaxonómicas el agente causal de la mancha foliar en *S. macrophylla*. Durante el año 2024, de plantas de *S. macrophylla* se colectaron muestras foliares con síntomas de mancha foliar. De estas muestras, se obtuvieron aislados fúngicos y con la caracterización morfológica se identificaron especies correspondientes al género *Neopestalotiopsis*. Los resultados de los postulados de Koch, confirmaron que las especies del género *Neopestalotiopsis* son los patógenos causales de la mancha foliar en *S. macrophylla*. Este trabajo es el primer reporte de *Neopestalotiopsis* spp., asociado a síntomas foliares en *S. macrophylla*.

V. CAPÍTULO 5. Control biológico y químico *in vitro* de hongos patógenos de plantas forestales tropicales en vivero

Artículo en borrador

Lorenza **Caamal-Eb**¹, Jairo **Cristóbal-Alejo**¹, Silvia Edith **García-Díaz**³, Alberto **Uc-Vázquez**², José María **Tun-Suárez**¹, Arturo **Reyes-Ramírez**¹

¹Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Conkal. Av. Tecnológico s/n. Conkal, Yucatán, México. C. P. 97435.

²Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. Tablaje Catastral 31264 Km 5.5, carretera Sierra Papacal-Chuburna Puerto, Parque Científico Tecnológico de Yucatán, Mérida, Yucatán. C. P. 97302.

³Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Km 38.5 carretera México-Texcoco, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230.

Nombre del estudiante: Lorenza Caamal Eb

Correo: D031002692@conkal.tecnm.mx

Nombre del director de tesis: Jairo Cristóbal Alejo

Correo: jairo.ca@conkal.tecnm.mx

5.1 RESUMEN

La principal estrategia utilizada para el manejo de enfermedades fúngicas en especies forestales tropicales en vivero es el control químico. El objetivo del trabajo fue evaluar la efectividad antagónica de *Trichoderma* spp. y la efectividad química de mancozeb contra hongos patógenos de *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla*. Para determinar la efectividad antagónica de *Trichoderma* spp. sobre los hongos fitopatógenos, se utilizó la técnica de confrontación dual y para la efectividad química de mancozeb se utilizó la técnica de medio de cultivo envenenado. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro réplicas, con los datos se realizaron análisis de varianza con el paquete estadístico SAS VER. 9.4; las comparaciones de medias se realizaron con el método de Tukey ($p \leq 0.05$). *Trichoderma* spp., mostró capacidad antagónica contra los hongos fitopatógenos y el mancozeb, mostró efectividad contra los mismos.