

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

SEDE VILLA CORZO

TESIS

**SUSCEPTIBILIDAD Y CONTROL DEL
Damping-off EN PLANTULAS DE CAFÉ**

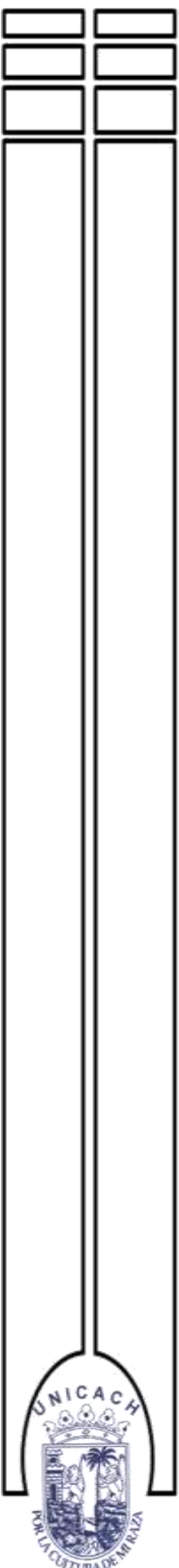
**QUE PARA OBTENER EL GRADO EN
MAESTRO EN CIENCIAS
AGROFORESTALES**

**PRESENTA
ORLANDO CRUZ SARMIENTO**

**DIRECTOR
DR. VIDAL HERNANDEZ GARCÍA**

Villa Corzo, Chiapas

Octubre 2025



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

SEDE VILLA CORZO

TESIS

**SUSCEPTIBILIDAD Y CONTROL DEL
Damping-off EN PLANTULAS DE CAFÉ**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO EN
MAESTRO EN CIENCIAS
AGROFORESTALES**

**PRESENTA
ORLANDO CRUZ SARMIENTO**

COMITÉ TUTORIAL

DR. VIDAR HERNÁNDEZ GARCÍA (DIRECTOR)

DR. MIGUEL ÁNGEL SALAS MARINA (CODIRECTOR)

DR. LUIS ALFREDO RODRÍGUEZ LARRAMENDI (ASESOR)

Villa Corzo, Chiapas

Octubre 2025



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

SECRETARÍA ACADÉMICA

Dirección de Investigación y Posgrado

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 30 de octubre de 2025

Oficio No. SA/DIP/1332/2025

Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

C. Orlando Cruz Sarmiento

CVU: 1273882

Candidato al Grado de Maestro en Ciencias Agroforestales

Facultad de Ingeniería

UNICACH

Presente

Con fundamento en la **opinión favorable** emitida por escrito por la Comisión Revisora que analizó el trabajo terminal presentado por usted, denominado **Susceptibilidad y control del Damping-off en plántulas de café** y como Director de tesis el Dr. Vidal Hernández García (CVU: 166271) quien avala el cumplimiento de los criterios metodológicos y de contenido; esta Dirección a mi cargo **autoriza** la impresión del documento en cita, para la defensa oral del mismo, en el examen que habrá de sustentar para obtener el **Grado de Maestro en Ciencias Agroforestales**.

Es imprescindible observar las características normativas que debe guardar el documento, así como entregar en esta Dirección una copia de la *Constancia de Entrega de Documento Recepcional* que expide el Centro Universitario de Información y Documentación (CUID) de esta Casa de estudios, en sustitución al ejemplar empastado.

ATENTAMENTE
"POR LA CULTURA DE MI RAZA"

Dra. Dulce Karol Ramírez López
DIRECTORA



DIRECCIÓN DE
INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

C.c.p. Dr. Segundo Jordán Orantes Alborez. Director de la Facultad de Ingeniería, UNICACH. Para su conocimiento.
Dr. Miguel Ángel Salas Marina. Coordinador del Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNICACH. Para su conocimiento.
Archivo/minutario.

EPL/DKRL/igp/gtr



2025, Año de la mujer indígena
Año de Rosario Castellanos



Ciudad Universitaria, Libramiento Norte
Poniente 1150, Col. Lajas Maciel.
C.P. 29039 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
Tel: (961) 6170440 Ext. 4360
investigacionyposgrado@unicach.mx

Dedicatoria

A MI MADRE REYNERIA SARMIENTO NAFATE, QUE DESDE EL CIELO ILUMINA MI CAMINO CON SU AMOR ETERNO, AUNQUE NO ESTÉ CONMIGO FÍSICAMENTE, SU PRESENCIA ME ACOMPAÑA EN CADA PASO Y EN CADA LOGRO.

A MI PADRE ORLANDO CRUZ CRUZ, POR SUS CONSEJOS Y BUENAS ENSEÑANZAS.

A MI HIJO, AXEL SANTIAGO, MOTIVO DE MI ESFUERZO Y ESPERANZA DEL FUTURO, CUYA SONRISA ME INSPIRA A NUNCA RENDIRME.

A MI ESPOSA, CAROLINA GRAJALES ÁLVAREZ, POR SU AMOR, PACIENCIA Y APOYO INCONDICIONAL, POR SER MI COMPAÑERA DE VIDA Y SOSTÉN EN LOS MOMENTOS MÁS DIFÍCILES.

A USTEDES, DEDICO CON TODO MI CORAZÓN ESTE TRABAJO, FRUTO DE MUCHOS SUEÑOS, SACRIFICIOS Y APRENDIZAJES.

Agradecimientos

A CONAHCYT, por el apoyo brindado a través de la beca otorgada, la cual hizo posible la realización de mis estudios de posgrado.

A la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), por su invaluable apoyo en mi formación académica a lo largo de toda mi carrera, desde la licenciatura hasta la maestría, brindándome los espacios, recursos y orientación necesarios para mi desarrollo académico y personal.

Al DR. VIDAL HERNÁNDEZ GARCIA, mi director de tesis, por su constante apoyo, por estar siempre pendiente de mí, brindándome sus valiosos consejos y amistad; su guía ha sido fundamental para la culminación de este trabajo. Toda mi admiración, respeto y aprecio.

Al DR. MIGUEL ÁNGEL SALS MARINA, co-director de tesis, por su apoyo, orientación y disposición constante, así como por sus valiosos comentarios que enriquecieron y fortalecieron este trabajo.

Al Laboratorio de Biofertilizantes y Bioinsecticidas el Ing. Mauricio Hernández Mondragón encargado del laboratorio por siempre estar al pendiente y brindar ayuda en cualquier situación.

Índice

Contenido

Índice	6
Resumen	8
Abstract	9
I. Introducción	10
OBJETIVOS.....	11
Objetivos generales:	11
Objetivos específicos:.....	11
HIPÓTESIS	12
MARCO TEÓRICO.....	12
I. El cultivo de café.....	12
II. Principales plagas del café.....	13
2.1.1 La Broca del café (<i>Hypothenemus hampei</i>).....	13
2.1.2 Biología de la broca del café	13
2.2.1 El minador de la hoja del café (<i>Leucoptera coffeella</i>).....	13
2.2.2 Biología del minador de la hoja del café	13
III Principales enfermedades del café.....	14
3.1 Mal de hilachas (<i>Pellicularia koleroga</i>).....	14
3.2 Ojo de gallo (<i>Mycena citricolor</i>).....	14
3.3 Roya del café (<i>Hemileia vastatrix</i>).....	14
3.3.1 Ciclo de vida de la roya	15
3.4.1 <i>Damping-off</i>	15
3.4.2 <i>Fusarium</i> spp.....	15
3.4.3 <i>Fomitopsis</i> spp.....	16
3.4.4 <i>Phoma</i> spp	16
IV Estrategias de control del Damping-off	16
4.1 control químico	16

4.2 Control biológico.....	17
Trichoderma spp.....	17
Bacillus spp.	19
RESULTADOS.....	20
Capítulo I: Artículo	20
Constancia de congreso.....	27
Constancia de retribución social	¡Error! Marcador no definido.
DISCUSIONES GENERALES	34
CONCLUSIONES GENERALES	37
ANEXOS	38

Resumen general

El café (*Coffea arabica* L.) es un cultivo de gran relevancia en el estado de Chiapas constituye una actividad económica, social y cultural estratégica, especialmente en comunidades indígenas y campesinas. Este cultivo enfrenta múltiples desafíos fitosanitarios que amenazan su sostenibilidad, una de las más importantes es el *Damping-off* en semilleros. El objetivo de este trabajo fue: Determinar la susceptibilidad de *Damping off* en variedades de café y su estrategia de control. Se colectaron semillas y plántulas de ocho semilleros que presentaron síntomas de *Damping-off*, y se trasladaron al laboratorio de Biofertilizantes y Bioinsecticidas de la UNICACH, sede Villa Corzo. Los hongos fitopatógenos fueron aislados, purificados e identificados molecularmente y se evaluaron biofungicidades como estrategias de control. En los resultados se identificaron cuatro aislados *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Phoma costarricensis*, y *Fomitopsis meliae*. En el bioensayo de confrontación *in vitro* de *Trichoderma* contra *Fomitopsis* sp., *Pythium* sp y *Fusarium* sp., se encontró que *T. reesei*, presentó 68% de inhibición del crecimiento radial para *Fomitopsis meliae*, 60% contra *Fusarium oxysporum*, 56% contra *Fusarium solani*, y 59% contra *Phoma costarricensis*. Este es el primer reporte de *Fomitopsis meliae* causando síntomas característicos de *Damping-off* en semilleros de café. El *Damping-off* mostró incidencia y severidad variables entre variedades de café. Sarchimor y Marsellesa fueron las más afectadas, mientras Typica, Cerezo amarillo y Borbón presentaron menor susceptibilidad. Estas diferencias genéticas son clave para seleccionar variedades tolerantes y diseñar estrategias fitosanitarias que mejoren la sanidad en viveros y la sostenibilidad del cultivo. El bioensayo *in vitro* mostró que *Trichoderma reesei* inhibió entre 56% y 68% el crecimiento de hongos patógenos en café. *Bacillus* spp. también presentó actividad antagónica significativa (18%–57% PICR). Estos resultados confirman el potencial de ambos microorganismos como agentes de biocontrol en enfermedades de plántulas de café.

Palabras claves: Variedades, *Trichoderma*, *Coffea arabica*, *in vitro*

Abstract

Coffea arabica L. is a highly relevant crop in the state of Chiapas. It constitutes a strategic economic, social, and cultural activity, especially in indigenous and rural communities. However, this crop faces multiple phytosanitary challenges that threaten its sustainability. One of the most important is damping-off in seedbeds. The objective of this study was to determine the susceptibility to damping-off in coffee varieties and their control strategies. Seeds and seedlings from eight seedbeds that presented symptoms of damping-off were collected and transferred to the Biofertilizers and Bioinsecticides Laboratory at UNICACH, Villa Corzo campus. The phytopathogenic fungi were isolated, purified and molecularly identified and biofungicides were evaluated as control strategies. The results obtained identified four isolates: *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Phoma costarricensis*, and *Fomitopsis meliae*. The in vitro confrontation assay of *Trichoderma* against *Fomitopsis* sp., *Pythium* sp., and *Fusarium* sp. found that *T. reesei* had a PICR of 68% for *Fomitopsis meliae*, a 60% PICR against *Fusarium oxysporum*, a 56% PICR against *Fusarium solani*, and a 59% PICR against *Phoma costarricensis*. For *Fomitopsis meliae*, this is the first report of it causing characteristic Damping-off symptoms in coffee seedlings. Damping-off showed variable incidence and severity among coffee varieties, with Sarchimor and Marsellesa being the most affected, while Typica, Yellow Cerezo, and Bourbon exhibited lower susceptibility. These genetic differences are essential for selecting tolerant cultivars and guiding phytosanitary strategies. In vitro assays confirmed that *Trichoderma reesei* and *Bacillus* spp. possess strong antagonistic activity against key coffee pathogens, highlighting their potential as biocontrol agents.

Keywords: Varieties, *Trichoderma*, *Coffea arabica*, in vitro

I. Introducción

El café (*Coffea arabica* L.) es un cultivo de relevancia global, en México es de gran importancia para las comunidades indígenas y campesinas que habitan las regiones montañosas del centro y sureste del país (Tablas-Gonzales *et al.*, 2021). El cultivo del café se introdujo a México en el año de 1796, y se consolidó como un cultivo importante en el contexto económico, ambiental y social que forma parte de la cultura agroproductiva de las regiones subtropicales y tropicales (Quiroz Antunez *et al.*, 2022). Las zonas cafetaleras del estado de Chiapas se caracterizan por sus contrastes ambientales, técnicos, económicos y socio culturales, que influyen en la producción del grano (Medina-Meléndez *et al.*, 2016). Por otro lado Chiapas es el principal estado productor, al aportar 41% del volumen nacional, seguido por Veracruz (24%) y Puebla (15.3%) según la SADER (2022), así mismo ocupa el primer lugar en superficies plantada con un 34.9%, seguido por Veracruz y Oaxaca respectivamente (SIAP, 2023). No obstante, este cultivo enfrenta diversas problemáticas fitosanitarias que afecta su productividad y sostenibilidad; entre ellas, el *Damping-off* se destaca por su impacto en plántulas, provocando altas tasas de mortalidad en viveros. Además, enfermedades como la roya del café (*Hemileia vastatrix*), Mal de hilachas (*Pellicularia koleroga*), Ojo de gallo (*Mycena citricolor*) y un junto plagas como el *Hypothenemus hampei* (broca del café), el minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*) generan importantes pérdidas económicas y reducen la calidad del grano. Estos factores representan un desafío constante para los productores, quienes buscan estrategias efectivas para el manejo y control de estas amenazas fitosanitarias (SENASICA, 2020; Piloza Mantuano *et al.*; 2022; Flores-Colorado *et al.*, 2023).

Si bien el uso fungicidas han sido herramientas claves para el control de enfermedades como la roya (*Hemileia vastatrix*), el uso desmedido ha desencadenado diversos problemas como

la contaminación del suelo, agua, aire y la vegetación, así como las resistencias de los patógenos (Hernández *et al.*, 2021; Loland & Singh, 2004).

Otro aspecto preocupante es la pérdida de microorganismos benéficos y ante este panorama se vuelve necesario buscar alternativas sostenibles y eficaces para el control de enfermedades en los cultivos primarios, y una de estas alternativas es el uso de agentes de control biológico como son: *Trichoderma* spp y *Bacillus* spp. que representa una alternativa prometedora (Bautista-Ortega *et al.*, 2022) ya que estos microorganismos no solo actúan como agentes de biocontrol contra una amplia gama de fitopatógenos, sino también puede inducir mecanismo de defensa en las plantas, promover el crecimiento vegetal (Castillo-Nole *et al.*, 2024; Sánchez-Miranda *et al.*, 2021).

El presente estudio busca contribuir al desarrollo de prácticas más sostenibles para la producción de café, específicamente abordando la problemática del *Damping-off* y su impacto en diferentes variedades de café. Ya que una de las metas de los productores es la obtención de plántulas de calidad libres de enfermedades; sin embargo, durante la producción de plántulas en semilleros sea establecido el uso de sustancias sintéticas como medidas de control, el cual trae efectos nocivos para el medio ambiente. Es por eso que se busca definir la efectividad de microorganismo ayuden a su control y que el uso de fungicidas convencionales sea la última opción. Por lo anterior en esta investigación se plantearon los siguientes objetivos.

OBJETIVOS

Objetivos generales:

Determinar la susceptibilidad de *Damping off* en variedades de café y su estrategia de control.

Objetivos específicos:

1. Identificar morfológica y molecularmente los agentes causales de *Damping off* en plántulas de café.
2. Determinar la incidencia y severidad en variedades de café.
3. Evaluar biofungicidas como estrategia de control.

4. Demostrar las pruebas de patogenicidad en variedades de café.

HIPÓTESIS

La caracterización morfológica y molecular de los agentes causales de *Damping-off* es esencial para el diagnóstico de enfermedades en café, y su capacidad infectiva puede demostrarse mediante pruebas de patogenicidad en variedades susceptibles de café, confirmando su importancia en el desarrollo de la enfermedad.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. El cultivo de café

La agricultura es la una de las actividades económicas más importante para México, provee los alimentos a la población, proporciona materias primas a la agroindustria, es una fuente de empleo y motor del desarrollo rural (SADER, 2023)

Actualmente, el café es un producto agrícola de gran relevancia mundial, su producción se lleva a cabo en 56 países catalogados como economías emergentes y desempeña un papel como estabilizador social, económico y político, así como de preservación del medio ambiente (Flores, 2015). En México, ésta es una de las bebidas más populares y su producción es tan amplia que actualmente es el onceavo productor a nivel mundial. El café ocupa el primer lugar como producto agrícola generador de divisas y empleos en el medio rural por las características del cultivo, que emplea para sus labores de limpia, cosecha y beneficiado del grano tanto a mujeres, hombres y jóvenes por lo que cualquier miembro de una familia puede realizarlo (Instituto Nacional de la Economía Social, 2019).

El sistema de producción de café en México se realiza principalmente bajo sombra, lo que permite conservar el medio ambiente, flora y fauna, mantos acuíferos y la captación de carbono (Garza-López *et al.*, 2025). Los estados cafetaleros de México lo componen Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Guerrero, Nayarit, Hidalgo, Querétaro, Colima, Jalisco y Tabasco (Wong-Paz *et al.*, 2013). En estos estados, se cultivan mayormente las variedades Typica, Marago, Bourbon, Caturra Rojo, Mundo Novo, Garnica y Caturra Amarillo (López *et al.*, 2016)

2.2. Principales plagas del café

2.2.1. La Broca del café (*Hypothenemus hampei*)

La broca de café (*Hypothenemus hampei*) es un coleóptero originario de África y sin duda es la plaga más destructiva en el cultivo de café en el mundo, ha logrado expandirse a casi todas las regiones cafetaleras del mundo provocando grandes pérdidas económicas y representando un reto constante para los productores (Damon, 2000; Jaramillo *et al.*, 2006).

2.2.2. Biología de la broca del café

La broca del café es un pequeño insecto coleóptero de la familia escolítidae, se trata de un insecto de hábitos críticos y comportamiento monófago, especializado en alimentarse y reproducirse exclusivamente en el endospermo de las cerezas de café. Presenta un tipo de reproducción de tipo espanandria y alcanza aproximadamente 2 mm de longitud en condiciones favorables (Barrera *et al.*, 2006).

Las larvas son de color blanco crema, tipo vermiforme y el cuerpo cubierto de setas, la pupa es de color blanco recién transformada, poco a poco se van oscureciendo sus alas y las partes bucales, luego toma un color marrón claro, antes de pasar al estado adulto, finalmente los adultos son de color marrón claro y blando recién salidos de la pupa, luego se van oscureciendo hasta llegar a ser completamente negros y duros (Cárdenas *et al.*, 2007)

2.2.3 El minador de la hoja del café (*Leucoptera coffeella*)

El minador de la hoja del café, es una de las principales plagas del cultivo del café (*Coffea arabica*), según David-Rueda *et al.*, (2015) es un micro-lepidóptero cuyas larvas se alimentan de hojas de las plantas de café y hacen galerías en la lámina foliar, que provocan defoliación cuando la infestación es abundante (Ramírez & García, 2021).

2.2.4. Biología del minador de la hoja del café

El adulto de *L. coffeella* es una mariposa de 2.5 mm de largo, blanco plateado y con un penacho de escamas en la cabeza, son de hábitos nocturnos y durante el día aparecen ocultos en el envez de las hojas. Durante la noche la hembra puede depositar entre tres y siete huevos en las hojas, su corta vida dura de dos a tres semanas (Constantino *et al.*, 2011).

2.3. Principales enfermedades del café

2.3.1. Mal de hilachas (*Pellicularia koleroga*)

Esta enfermedad es denominada en varios países como "arañera", "koleroga", "mal de hilachas" y "hebraviva" es una enfermedad originaria de la India. La característica principal de esta enfermedad la constituye la presencia de hojas completamente secas que penden de las ramas mediante hilo finos, similares a hilo de araña, que corresponden a las estructuras del hongo (Castro-Caicedo, 2003).

El mal de hilachas es ocasionado por el hongo *Pellicularia koleroga*, este hongo ataca a las ramas centrales, hojas y frutos de las plantas afectadas y provoca una defoliación. se aloja en ramas y hojas en forma de micelio, la diseminación se da durante épocas de lluvias, tanto por viento como por salpicaduras, favoreciendo la formación de nuevos micelios por medio de las basidiosporas ya que encuentran condiciones óptimas como el 90 % de humedad y temperaturas entre los 25 y 30°C donde el hongo penetra las células por medio de los haustorios , creando unos hilos blancos donde se afecta (Liberio-Miranda, 2023).

2.3.2. Ojo de gallo (*Mycena citricolor*)

El ojo de gallo, enfermedad causada por el hongo basidiomicete *Mycena citricolor*, puede provocar severa defoliación y caída de frutos, en los cafetales. Los basidiomicetes, al igual que los otros grupos de hongos, presentan dos fases de reproducción, la sexual y la asexual. La primera constituye la mayor parte del ciclo y se caracteriza por la formación de cuerpos fructíferos complejos llamados basidiomas o basidiocarpos (Granados-Montero, 2015).

Esta enfermedad se caracteriza por la formación de pequeñas manchas circulares u ovaladas, ligeramente hundidas, con un diámetro de 6-10 mm sobre las hojas. Las lesiones se inician como puntos café oscuro de borde indefinido, que al alcanzar su tamaño final presentan un borde bien marcado, con poca o ninguna clorosis alrededor (Zamora *et al.*, 2017).

2.3.3. Roya del café (*Hemileia vastatrix*)

La roya del café es una enfermedad causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, considerada la más destructiva y la que ocasiona mayores pérdidas productivas y económicas para los

cafeticultores (Hernández *et al.*, 2021) Taxonómicamente el agente causal de la roya pertenece al Phylum: Basidiomycota, Clase: Pucciniomycetes, Orden: Pucciniales, Familia: Mikronegeriaceae, Género: Hemileia, y Especie: *Hemileia vastatrix* (Moreira-Morrillo *et al.*, 2023).

2.4. Ciclo de vida de la roya

La etapa de disseminación se realiza por medio de esporas microscópicas con medidas de 30 micras de largo y 20 micras de ancho las cuales son denominadas urediniosporas (Rivillas-Osorio *et al.*, 2011) *H. vastatrix* es un parásito obligado, sobrevive únicamente en tejido vivo del hospedante, las urediniósporas pueden sobrevivir hasta por 6 semanas bajo condiciones ambientales secas. No se han reportado hospedantes alternos y no sobrevive en restos del cultivo (SENASICA, 2019).

2.5. Damping-off

La enfermedad del *damping-off* surge por la presencia excesiva de lluvias o mal manejo del riego, es provocado por un complejo de hongos del suelo como *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* sp., *Pythium* sp., *Phytophthora* sp.. Los síntomas en las plantas recién emergidas consisten en marchitamiento, necrosis marrón de la raíz pivotante inferior y muerte final de las plántulas (Bernaola & Mendoza, 2023; Ren *et al.*, 2018). Sin embargo, la enfermedad del *Damping-off* puede tener varias fases. Los hongos que causan esta enfermedad pueden atacar a las semillas o las plántulas antes de que emerjan por encima de la superficie del suelo, provocando una podredumbre de la semilla o podredumbre preemergente (Laemmlen, 2002).

2.6. Fusarium spp.

El género *Fusarium* es uno de los hongos de mayor importancia económica y contiene muchos patógenos vegetales agronómicamente importantes, productores de micotoxinas y patógenos humanos oportunistas es uno de los géneros de hongos fitopatógenos más comunes, y el impacto colectivo de sus micotoxinas supera al de cualquier otra toxina o grupo de toxinas. Las pérdidas por enfermedades en múltiples cultivos sitúan a *Fusarium* entre los grupos de fitopatógenos más importantes del mundo (Munkvold *et al.*, 2021; Ekwomadu & Mwanza, 2023).

Los miembros del género *Fusarium* pertenecen a la familia Nectriaceae, orden Hypocreales, clase *Sordariomycetes*, filo *Ascomycota*, reino Fungi y dominio Eukaryotes. están ampliamente distribuidos en todas las regiones geográficas del mundo (Nikitin *et al.*, 2023).

2.7. *Fomitopsis* spp.

El género *Fomitopsis*, perteneciente a la familia *Fomitopsidaceae*, *Basidiomycetes* provoca la pudrición parda (Soto-Medina & Bolaños-Rojas, 2013; Sun *et al.*, 2024) Este género de hongos poliporos es bien conocido a nivel mundial y pertenece al clado *Antrodia*, se caracteriza por tener principalmente cuerpos fructíferos (basidiocarpos) perennes, sésiles o con crecimiento reflejo, de textura dura que va de firme a leñosa. La superficie porosa varía entre blanco, beige y tonos rosados, con poros pequeños y regularmente distribuidos. (Han *et al.*, 2016).

2.8. *Phoma* spp.

El pie negro de las crucíferas [*Leptosphaeria maculans* (anamorfo *Phoma lingam*)], es una enfermedad económicamente importante del brócoli y coliflor en el Centro de México. (Moreno-Rico *et al.*, 2005) Las plantas enfermas se caracterizan por manchas foliares circulares e irregulares color marrón claro, presencia de necrosis con apariencia acuosa a toda la lámina foliar. Conforme avanzaba la necrosis, se muestran anillos concéntricos marrón claro de consistencia suave, Después de la defoliación, la necrosis continúa a las ramas sobre las cuales se presentaban pequeños cuerpos de color marrón oscuro y concluye con la muerte de las plantas (Correa *et al.*, 2011)

3. Estrategias de control del *Damping-off*

3.1 Control químico

El control químico ha sido una estrategia muy utilizada para la prevención de fitopatógenos del suelo, la aplicación de fungicidas sintéticos de amplio espectro y de contacto ingredientes activos utilizados en diferentes cultivos como: Carbendazim, Polietoxi etanol, Carboxin y Thiram, son utilizados de manera individual o en mezclas (Mesa, 2023).

Para los cultivos que se desarrollan durante la época de lluvias, es necesario hacer aplicaciones de fungidas y bactericidas frecuentemente, para evitar la diseminación rápida de las enfermedades en el cultivo; los productos químicos reducen la incidencia de la marchites de plántulas en

el cultivo de tomate. Este puede tratarse con vapor de agua (80C o más durante dos horas) o con fumigantes de amplio espectro como Bromuro de metilo o Metam-sodio (Vapam) (Gonzales-Acosta *et al.*, 2013).

Sin embargo, el uso reiterado y, en muchos casos, indiscriminado de fungicidas ha generado la aparición y predominio de cepas resistentes sobre las poblaciones de hongos fitopatógenos, lo cual ha derivado en la aparición de cepas resistentes, además de toxicidad al hombre y contaminación ambiental (Hernández-Hernández *et al.*, 2018; Jiménez *et al.*, 2023).

3.2. Control biológico

El control biológico es el uso de organismos vivos (o de sus metabolitos o subproductos) que son enemigos naturales de una plaga o patógeno, con el fin de reducir o eliminar sus efectos dañinos en las plantas o sus productos (Serrano & Galindo, 2007).

El control biológico fue concebido a inicios del siglo XIX cuando algunos naturistas de diferentes países reseñaron el importante papel de los organismos entomófagos en la naturaleza. Con el empleo del control biológico se intenta restablecer el perturbado equilibrio ecológico, mediante la utilización de organismos vivos o sus metabolitos, para eliminar o reducir los daños causados por organismos perjudiciales (Badii & Abreu, 2006). El manejo biológico de las plagas agrícolas tiene como propósitos fundamentales: mitigar los efectos nocivos, pérdidas económicas, reducir o reemplazar el uso de plaguicidas químicos, integrar las estrategias compatibles y sinérgicas para optimizar la efectividad del manejo integrado de plagas MIP. Las ventajas del CB son claras puesto que no tienen un efecto negativo para los trabajadores en el campo, actúa de manera permanente en una biodiversidad y los productos agrícolas son de primera calidad porque no tienen residuos químicos, conceptos que están estrechamente relacionados al MIP (Viera-Arroyo *et al.*, 2020).

3.2.1. *Trichoderma* spp.

El género *Trichoderma* (*Hypocreaceae*, *Ascomycota*) se presenta naturalmente en diferentes hábitats. Se caracteriza por ser saprófito, sobrevive en suelos con diferentes cantidades de materia orgánica debido a su gran capacidad de descomponerla. Las colonias de los aislamientos de *Trichoderma* presentan rápido crecimiento, poseen color blanco y se tornan verde oscuro con abundante esporulación. Durante su desarrollo y crecimiento producen hifas de 5 -10

µm de ancho que conforman el micelio septado, con paredes compuestas por quitina y glucano (Martínez *et al.*, 2015).

Las especies de *Trichoderma* clasificadas como oportunistas ambientales se caracterizan por compartir ciertos fenotipos, como crecimiento, colonización agresiva de nichos en el suelo y la rizósfera, alta capacidad para parasitar o depredar otros hongos y, en varias especies, la capacidad de establecer interacciones benéficas con las plantas, lo cual se traduce en promoción del crecimiento vegetal e inducción de resistencia frente a enfermedades y estreses abióticos, también pueden encontrarse como endófitas, especialmente en tallos y troncos de plantas leñosas (De Abreu & Pfenning, 2019). *Trichoderma* es más que un agente biológico para el control de enfermedades. Tiene otros usos diferentes, como la producción de enzimas para industrias. Además, puede contribuir con la agricultura en varios aspectos fundamentales como: aumentar la eficiencia del uso del nitrógeno, promover el desarrollo y la productividad de las plantas y aliviar los impactos del estrés salino. El segundo aspecto por discutir es el potencial de *Trichoderma* en la promoción del crecimiento y la productividad de las plantas. El tercer aspecto por considerar es el potencial de *Trichoderma* para disminuir el estrés salino, También se ha reportado que *Trichoderma* spp. son eficaces para disminuir los efectos adversos que tiene el estrés salino en las plantas. Es ampliamente reconocido que las especies de *Trichoderma* protegen a las plantas contra patógenos por competencia, micoparasitismo y antibiosis.(Choappa *et al.*, 2022). Los mecanismos antagónicos que utiliza *Trichoderma* spp., se describen como competencia, antibiosis y micoparasitismo, sin ser estos mutuamente excluyentes y pudiendo por lo tanto actuar a la vez. La competencia es por nutrientes, por oxígeno y por espacio, es entendida como el desigual comportamiento de dos o más organismos ante un mismo requerimiento, siempre y cuando la utilización del mismo por uno de los organismos reduzca la cantidad disponible para los demás (López *et al.*, 2017).

Ya sea a través del contacto directo o sin necesidad de establecer contacto físico, *Trichoderma* spp. es capaz de inhibir el crecimiento de diversos hongos y bacterias mediante la producción de metabolitos secundarios, tanto volátiles como no volátiles, como la gliotoxina, la viridina y la gliovirina, un mecanismo conocido como antibiosis (Howell *et al.*, 1993; Zeilinger *et al.*, 2016).

3.2.2. *Bacillus* spp.

El género *Bacillus* fue reportado por primera vez por Cohn (1872) quien lo describió como bacterias productoras de endosporas resistentes al calor. Las especies de *Bacillus* pertenecen al Reino Bacteria; Filo Firmicutes; Clase Bacilli; Orden Bacillales y Familia *Bacillaceae* (Villarreal-Delgado *et al.*, 2018). Este género de bacterias Gram positivas tienen la ventaja de poseer diversos mecanismos para asegurar su sobrevivencia ante condiciones físicas desfavorables, bajo estas condiciones *Bacillus* spp. inicia una serie de respuestas; la habilidad de las especies de *Bacillus* de formar endosporas altamente resistentes les da una ventaja competitiva muy importante en un ambiente como el suelo también se adaptan a cambios bruscos de temperatura, para esto cuentan con genes de shock térmico inducibles que incluyen proteínas chaperonas y proteasas (Calvo & Zúñiga, 2010).

Bacillus es reconocido como uno de los géneros bacterianos principales en el interés científico e industrial, debido a que se encuentra comúnmente en el suelo, así como en todos los ecosistemas naturales del planeta, desde la superficie hasta las capas más profundas, y colonizando la rizosfera de las plantas. Este microorganismo es una bacteria esporulada, por lo que es productora de esporas. Las esporas se definen como estructuras de diversos géneros bacterianos, que permiten al microorganismo soportar condiciones adversas tales como carencia de nutrientes, temperaturas extremas, deshidratación, y pueden ser dispersadas fácilmente por el agua y el viento. Las esporas pueden sobrevivir por millones de años; y cuando las condiciones ambientales mejoran, comienza nuevamente su ciclo de vida (Miguel-González *et al.*, 2024)

RESULTADOS

Capítulo I: Artículo

Primer reporte de *Fomitopsis meliae* causando *Damping off* en semilleros de *Coffea arabica* en México

Vidal Hernández-García¹, Orlando Cruz-Sarmiento¹, Miguel Ángel Salas-Marina^{1*}, Luis Alfredo Rodríguez-Larramendi¹, Claudio Ríos-Velasco². ¹Laboratorio de Biofertilizantes y Bioinsecticidas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Facultad de Ingeniería Agroforestal, Sede Villa Corzo. Km 3.0 Carretera Villa Corzo, Ejido Monterrey. C. P. 30520. Chiapas, México. ²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Av. Río Conchos, Parque Industrial C.P. 31500, Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua.

RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. En la región Frailesca, Chiapas, México, los semilleros de café (*Coffea arabica*) frecuentemente presentan alta mortalidad de plántulas con síntomas atribuido al complejo fitopatológico *Damping-off*. El objetivo de este estudio fue identificar morfológica y molecularmente los agentes causales del *Damping off* en plántulas de café.

Desarrollo experimental. Semillas y plántulas de café con sintomatología de *Damping-off* de las variedades Typica, Marago, Bourbon, Marsellesa, Costa Rica, Sarchimor, Cerezo amarillo, Pacamara fueron colectadas de semilleros de productores de la región Frailesca, Chiapas. A partir de estas, se aislaron los patógenos asociados y se identificaron morfológica mediante claves dicotómicas y molecularmente utilizando marcadores (ITS1 y ITS4). Para confirmar su etiología, se realizaron los postulados de Koch bajo condiciones de campo.

Resultados. Se identificaron cuatro aislados fúngicos asociados a síntomas de *Damping-off* en plántulas de café: Dos especies de *Fusarium* spp., *Phoma* sp. y *Fomitopsis* sp. este último presentó estructuras reproductivas como las basidiosporas fusiformes y coincidió molecularmente en un 97.23 % de similitud con *Fomitopsis meliae*. Las pruebas de patogenicidad confirmaron que *Fomitopsis meliae* es un nuevo agente causal de *Damping-off*, al provocar síntomas de; pudrición raíces, pudrición basal del tallo y muerte de las plántulas.

Conclusión. Este es el primer reporte de *Fomitopsis meliae* como nuevo agente causal del *Damping-off* en semilleros de café en México.

Palabras clave: Complejo, Variedades, Café, Almácigos, Etiología

*Autor de Correspondencia:
Miguel Ángel Salas-Marina
miguel.salas@unicach.mx

Sección:
Edición periódica / Número
Especial

Recibido:
00 XX, 202X
Aceptado:
00 XX, 202X
Publicado:
00 XX, 202X

Cita:
Apellido-Apellido N, Apellido-
Apellido N, Apellido-Apellido
N, Apellido-Apellido N y
Apellido-Apellido N. 202X.
Título de la contribución.
Revista Mexicana de
Fitopatología 4X(X): XX.
<https://doi.org/10.18781/R.ME>
X.FIT.0000-0



INTRODUCCIÓN

El café (*Coffea arabica*) es un cultivo de gran importancia en México, tanto en términos económicos como sociales. Es fuente de empleo para miles de familias, especialmente en los estados del sur y centro del país (Barrera Rodríguez *et al.*, 2021). Dentro de este panorama, el estado de Chiapas, México destaca como el mayor productor, con 34.9 % en superficie plantada seguido, por Veracruz y Oaxaca (SIAP, 2023). Sin embargo, este cultivo enfrenta numerosos problemas fitosanitarios como enfermedades y plagas, que influyen en su rendimiento y calidad (Medina *et al.*, 2016). Aunado a esto, en Chiapas existe falta de evidencia científica en el diagnóstico de fitopatógenos asociados a plántulas de café, información clave para el manejo integrado de enfermedades en este cultivo. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue identificar morfológica y molecularmente los agentes causales de *Damping off* en plántulas de café.

Colecta en semilleros. En junio del 2023 se colectaron semillas y plántulas de café con síntomas del *Damping-off* (Figura 1 A-F) en ocho semilleros de las fincas cafetaleras del municipio de Villa Corzo, San Martha (N 15°57'51.7" W 93°22'21.1"), Gracias a Dios (15°58'35.9"N 93°21'49.0"W), San Luis (N 16°06'14" W 93°35'06") y el Ejido Sierra Morena (N 16°09'25.1" W 93°36'08.0"), con las siguientes variedades Typica, Marago, Bourbon, Marsellesa, Costa Rica, Sarchimor, Cerezo amarillo y Pacamara de un total de 16 plántulas.

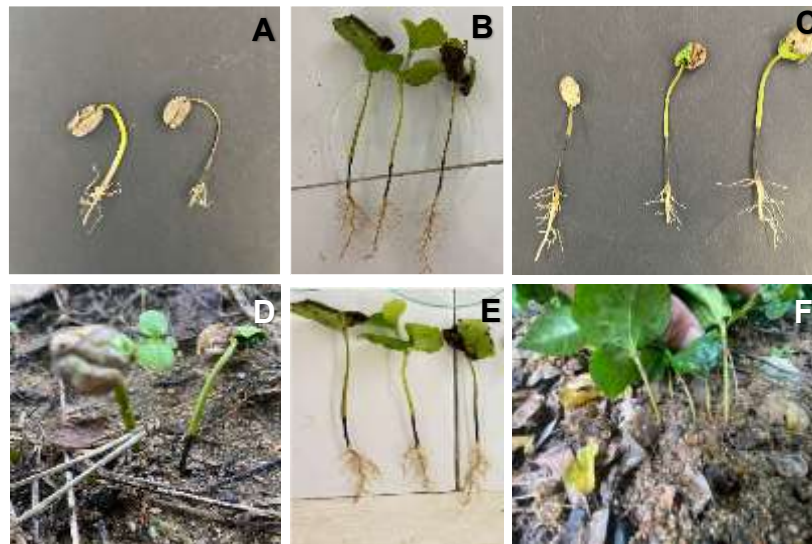


Figura 1. Plántulas de café de diferentes variedades con síntomas del *Damping-off*. A. Marago. B. Typica. C. Costa Rica. D. Sarchimor. E. Marsellesa. F. Bourbon.

Aislamiento de hongos fitopatógenos. Las plántulas con síntomas de *Damping-off* se trasladaron al laboratorio de Biofertilizantes y Bioinsecticidas de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), sede Villa Corzo, Chiapas, México, para su diagnóstico, utilizando el protocolo de Ríos-Velasco *et al.* (2016), las muestras se lavaron con agua de la llave, se segmentaron en raíz, tallo y hoja, seccionadas con un bisturí en explantes de 5 mm de tejido enfermo, posteriormente lavadas con hipoclorito de sodio al

10 %, seguido de dos lavados con agua destilada estéril y sembrados en medio de papa dextrosa agar (PDA) y cultivo nutritivo (V8) por triplicado e incubadas en una cámara de crecimiento vegetal con un fotoperiodo de 12 h luz, 12 h de oscuridad a una temperatura de 28°C, el crecimiento micelial se monitoreo cada 24 horas durante siete días, posteriormente los hongos aislados se purificaron por punta de hifa.

Identificación morfológica y molecular. Los hongos aislados se identificaron morfológicamente utilizando la técnica de tinción, descrito por Sinclair and Dhingra, (2017) y claves taxonómicas (Barnett and Hunter, 1996; Watanabe, 2002), observadas en un microscopio óptico (Axiolab 5, Carl Zeiss). La identificación de cuatro patógenos fue confirmada molecularmente mediante la amplificación por PCR y secuenciación del espaciador del gen transcrito interno (ITS) del rDNA utilizando los primers ITS4/ITS1 (White *et al.*, 1990). Los productos de PCR secuenciados fueron comparados con la base de datos del Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI) mediante BLAST (Altschul *et al.*, 1990) y registrados en el GenBank.

Prueba de patogenicidad. Los postulados de Koch se llevaron a cabo bajo condiciones de campo, en un ambiente semicontrolado con malla sombra al 75 %, simulando el sistema agroforestal del cultivo de café donde se regula la radiación solar excesiva. Veinte semillas de cada variedad de café (Typica, Marago, Bourbon, Marsellesa, Costa Rica, Sarchimor, Cerezo amarillo, Pacamara) fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 10 % y sembradas en vasos de unicel de 14 fl oz, inoculadas con 1000 µl de una suspensión de conidios de *Fomitopsis meliae* (4×10^4 esporas/mL⁻¹), utilizando como sustrato arena estéril. Las inoculaciones se repitieron cada 15 días hasta la emergencia de las plántulas (59 días). Las semillas control fueron regadas con agua destilada estéril. Con base a las características morfológicas y moleculares, se identificaron cuatro hongos como agentes causales del *Damping-off* en semillero de café; dos de ellos pertenecen al género *Fusarium* spp.: *F. oxysporum* (PX216556) y *F. solani* (PV242014), presentando macroconidias en forma de medias lunas, conforme a lo descrito en las claves dicotómicas; otro como *Phoma costarricensis* (PX244525) con presencia de picnidios hialinos y clamidosporas solitarias. Así mismo, se reporta por primera vez la presencia de *Fomitopsis meliae* (PV242016) como agente causal del *Damping-off* en café, especie que mostró cistidios terminados en punta y basidiosporas oblongas fusiforme (Han and Cui, 2014; Salazar-Vidal, 2016), con dimensiones de basidiosporas (n=30), de 4.0-3.3 x 1.8-1.2 µm (largo x ancho) (Li, *et al.*, 2012; Han and Cui, 2014; Alcantara-Varga *et al.*, 2020). La Figura 2 ilustra las estructuras morfológicas observadas.

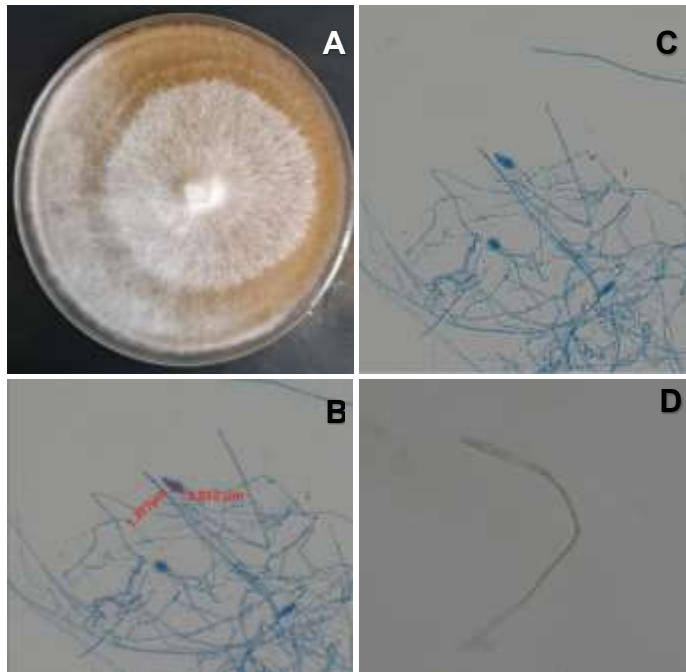


Figura 2. Características morfológicas del *Fomitopsis meliae*. **A.** Colonia desarrollada en medio PDA. **B.** Basidiosporas observadas en el microscopio a 40X. **C.** Longitud y ancho de las basidiosporas. **D.** Cistidiolos en agua observadas en el microscopio a 40X.

Pruebas de patogenicidad. Las plantas inoculadas con *Fomitopsis meliae* presentaron los primeros síntomas a los 45 días después de la emergencia, pudrición basal del tallo, pudrición de raíces y muerte de plántulas, síntomas similares a los observados en las plántulas de los semilleros muestreados, el control no presentó ninguna sintomatología. Las plántulas con síntomas se utilizaron para reaislar el patógeno y se corroboró que *Fomitopsis meliae* es un agente causal del complejo *Damping-off* en plántulas de café, confirmando su patogenicidad hacia diferentes variedades de café (Typica, Marago, Bourbon, Marsellesa, Costa Rica, Sarchimor, Cerezo amarillo, Pacamara) (Figura 3 A-D).

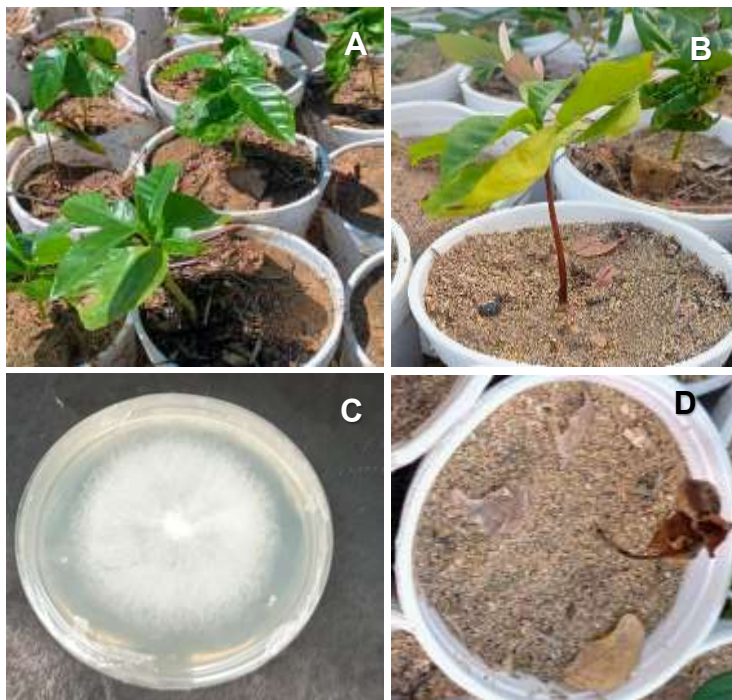


Figura 3. Pruebas de patogenicidad en plántulas de café. **A.** Plántula control. **B.** Plántula con sintomatología de *Fomitopsis meliae*. **C.** Plántula muerta. **D.** Hongos reaislado en medio PDA.

CONCLUSIONES

En México, existen evidencias documentadas que *Fomitopsis meliae* es el agente causal de la muerte regresiva de los cítricos (Polanco-Florián *et al.*, 2020) y la pudrición marrón de la madera en árboles de limoneros vivos en Arizona y California (Hu and Wright, 2021). Asimismo, se ha aislado este patógeno de frutos y hojas de café arábico con síntomas de antracnosis (Sosa-Rubio, 2023), donde esta enfermedad es provocada por el complejo de *Colletotrichum gloeosporioides* y no hay evidencias científicas de pruebas de patogenicidad de *Fomitopsis meliae* provocando enfermedades en plantas de café.

Este es el primer reporte de *Fomitopsis meliae* causando síntomas característicos de *Damping-off* en semilleros de café, tanto en variedades locales, como en variedades introducidas resistentes a la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en Chiapas, México, ante esto, aumenta el número de agentes causales de esta enfermedad en etapas tempranas de desarrollo de las plántulas de café en los semilleros.

Limitaciones

Sin limitaciones en las partes metodológicas.

Conflicto de interés

Todos los autores declaran no tener ningún conflicto de interés

Financiamiento

El proyecto fue financiado por la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH)

Agradecimientos

O. Cruz-Sarmiento (CVU: 1273882) agradece al CONAHCYT por la beca para estudios de maestría.

Contribución de los autores

Vidal Hernández-García. Diseño del experimento

Orlando Cruz-Sarmiento. Toma de datos y seguimiento del experimento

Miguel Ángel Salas-Marina. Redacción y revisión del escrito

Claudio Ríos-Velasco. Extracción y secuenciación de hongos fitopatógenos

Luis Alfredo Rodríguez-Larramendi. Redacción y revisión del escrito

REFERENCIAS

- Alcantara-Vargas E, Espitia-López J, Garza-López PM and Angel-Cuapio A. 2020. Conidia production and quality of entomopathogenic strains of the genus *Metarhizium anisopliae*, isolated in agricultural zones of the State of México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91(July). <https://doi.org/10.22201/IB.20078706E.2020.91.2912>
- Altschul SF, Gish W, Miller W, Myers EW and Lipman, DJ. 1990. Basic local alignment search tool. *Journal of Molecular Biology*, 215(3), 403–410. [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(05\)80360-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(05)80360-2)
- Barnett HL and Hunter BB. 1998. Ilustrad general of imperfect fungi. *Libro*, Forth Edit. Minesota, USA.
- Barrera Rodríguez A, Ramírez García AG, Cuevas Reyes V, Espejel García A. 2021. Modelos de innovación en la producción de café en la Sierra Norte de Puebla-México *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXVII, Núm. Esp. 3, 443-458. Universidad del Zulia. DOI: <https://doi.org/10.31876/rcs.v27i.36530>
- Han ML and Cui BK. 2014. Morphological characters and molecular data reveal a new species of *Fomitopsis* (Polyporales) from southern China. *Mycoscience*, 56(2), 168–176. <https://doi.org/10.1016/j.myc.2014.05.004>
- Hu J and Wright G. 2021. First Report of *Fomitopsis meliae* causing brown wood rot on living lemon trees in Arizona and California. *Plant Disease*. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-20-2427-PDN>
- Li HJ, Han ML and Cui, BK. 2013. Two new *Fomitopsis* species from southern China based on morphological and molecular characters. *Mycological Progress*, 12(4), 709–718. <https://doi.org/10.1007/s11557-012-0882-2>
- Medina-Meléndez JA, Ruiz-Nájera R, Gómez-Castañeda JC, Sánchez-Yáñez JM, Gómez-Alfaro G, and Pinto-Molina O. 2016. Estudio del sistema de producción de café (*Coffea arabica* L.) en la región Frailesca, Chiapas. Study of the production system of coffee (*Coffea arabica* L.). *CienciaUAT*, Vol. 10, Núm. 2, pp. 33-43. <https://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v10n2/2007-7858-cuat-10-02-00033.pdf>. Consulta, Mayo 2025.
- Polanco-Florián LG, Alvarado-Gómez OG, Olivares-Sáenz E, González-Garza R and Pérez-González O. 2020. Control biológico de *Lasiodiplodia theobromae* y *Fomitopsis meliae* causantes de la muerte regresiva de los cítricos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11 (5). 1069–1081. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2272>
- Ríos-Velasco C, Caro-Cisneros J, Berlanga-Reyes D, Ruiz-Cisneros MF, Ornelas-Paz J, Salas-Marina MA, *et al.* 2016. Identification and antagonistic activity in vitro of *Bacillus* spp. and *Trichoderma* spp. isolates against common phytopathogenic fungi. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 84–99. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1507-1>
- Salazar-Vidal VE. 2016. Manual de micología básica (Issue October). <https://www.researchgate.net/publication/333774015>
- SIAP. 2023. Escenario mensual de productos agroalimentarios. file: Tomado de:///C:/Users/migue/AppData/Local/Temp/MicrosoftEdgeDownloads/090345f5-6ff6-46a8-b685-694e3344aaa9/Cafe_Enero.pdf. Consulta, Marzo 2024.
- Sinclair JB and Dhingra OD. 2017. Métodos básicos de fitopatología. Libro Electronico, 1995, 2017. <https://doi.org/10.1201/9781315138138>
- Sosa-Rubio A. 2023. Antagonismo de *Trichoderma* spp. a *Colletotrichum* spp. en café arábico. Tesis de Maestría. TecNM-Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. 80 p. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/6858>. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/bitstream/TecNM/6858/1/2.%20Tesis.pdf>. Consulta, Junio 2025.
- Watanabe T. 2002. Book pictorial atlas of soil and seed fungi morphologies of cultured fungi and key to species, Second Edition. *Libro*, 2.^a edición, 2002. <https://doi.org/10.1201/9781420040821>
- White TJ, Bruns T, Lee S and Taylor, J. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*. New York, pp. 315-322. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-372180-8.50042-1>



La Sociedad Mexicana de Control Biológico A.C.

Otorga la siguiente

CONSTANCIA

Investigando interacciones,
divulgando soluciones.

Orlando Cruz-Sarmiento, Vidal Hernández-García, Miguel Ángel Salas-Marina y Claudio Ríos-Velazco

Por su participación como **PONENTE en la modalidad oral** en el **XLVI Congreso Nacional de Control Biológico** realizado los días 24 y 25 de octubre en Cholula, Puebla, México con el tema:

DIAGNÓSTICO Y CONTROL BIOLÓGICO DE DAMPING OFF EN PLÁNTULAS DE CAFÉ

Dra. María Julissa Ek Ramos
Presidenta de la SMCB
2023 - 2025

Dra. María Fernanda Vázquez Ramírez
Coordinadora del Congreso
y carteles



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS
Y ARTES DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA

otorga el presente

RECONOCIMIENTO
a

C. Cruz Sarmiento Orlando
Mtro. Hernández García Vidal
Mtro. Salas Marina Miguel Ángel

Por haber obtenido el tercer lugar en el concurso de carteles con el tema: "Aislamiento e identificación de los agentes causales del Damping off en variedades comerciales de café" dentro del evento académico de la XLI Semana de Ingeniería "La transversalidad de la Ingeniería en México", celebrado los días 11, 12 y 13 de Octubre de 2023.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; 13 de octubre de 2023

ATENTAMENTE

"Por la Cultura de mi Raza"

Ing. Mónica Catalina Cisneros Ramos
Directora



**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS**
Facultad de Ingeniería

Otorga el presente

RECONOCIMIENTO

A

Orlando Cruz Sarmiento, Dr. Vidal Hernández García

Dr. Miguel Ángel Salas Marina

Por su participación en el concurso de Carteles con el tema “Diagnóstico y biocontrol del damping-off en variedades de café” en el marco de la XLII Semana de Ingeniería “Medio Ambiente y Seguridad Industrial”, celebrado los días 16, 17 y 18 de octubre de 2024.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 18 de octubre del 2024.

ATENTAMENTE

“Por la cultura de mi raza”



Ing. Monica Catalina Cisneros Ramos
Directora



Constancia de actividades de retribución social

Ciudad de México a **16 de marzo del 2023**

A quien corresponda:

Presente.

En cumplimiento a lo establecido en el *Artículo 19, Capítulo VIII. De la Conclusión de la Beca o Apoyo, del Reglamento de Becas del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías*, y en el marco de la Convocatoria **BECAS CONAHCYT NACIONALES 2023**, hago constar que **el (la) C. ORLANDO CRUZ SARMIENTO** con número de **CVU 1273882 beneficiado(a)** con una beca para obtener el grado de **MAESTRO** en el programa **MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROFORESTALES**, que se imparte en **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS, SEDE VILLA CORZO**, realizó las actividades de retribución social durante el periodo de vigencia de la beca tiempo en el que fue **alumno(a)** regular de esta Institución.

Asimismo, hago constar que, conforme a lo establecido en la Ley General de Archivos, la coordinación del posgrado organiza y conserva la evidencia documental de dichas actividades en caso de que el Conahcyt o cualquier otra instancia la requiera.

Sin más por el momento, le envío un cordial saludo.

DR. MIGUEL ANGEL SALAS MARINA

Coordinador de la Maestría en Ciencias Agroforestales





Constancia de actividades de retribución social

Orlando Cruz Sarmiento

Nombre y firma de la persona becaria

1273882

Miguel Ángel Salas Marina

**Nombre y firma de la persona
responsable de supervisar la actividad
de retribución social en el programa
de posgrado**

(Co-director interno / externo)

Vidal Hernández García

**Nombre y firma de la persona
responsable de supervisar la actividad
de retribución social en el programa
de posgrado**

(Director)

Vo. Bo.

Dr. Miguel Ángel Salas Marina

**Coordinador de la Maestría en
Ciencias Agroforestales**



Luis Alfredo Rodríguez Larramendi

**Nombre y firma de la persona
responsable de supervisar la
actividad de retribución social en el
programa de posgrado**

(Co-director interno / externo)



La Subsecretaría de Educación Básica
a través de la
Dirección General de Educación Primaria
en coordinación con la
Escuela Primaria 14 de Septiembre
07DPR2388V



OTORGA LA PRESENTE

CONSTANCIA

Orlando Cruz Sarmiento

A.

Por su participación en el taller de Divulgación "La Ciencia en los niños y las niñas"
dirigido a alumnos de primer grado de primaria.



[Signature]

Profr. Pascual Ricardo Aguilar López

Director Escolar

Villacorzo, Chiapas 16 de marzo de 2023

DISCUSIONES GENERALES

En este estudio se identificaron cuatro grupos fúngicos aislados a partir de plántulas de café con síntomas típicos de *Damping-off*, mediante una combinación de métodos morfológicos y moleculares: *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Phoma costarricensis*, y *Fomitopsis meliae*. La caracterización morfológica en medio PDA permitió realizar una clasificación preliminar, para *Fusarium* sp., se observó micelio extenso y con apariencia algodonosa en el cultivo, y de color blanquecino, al reverso de la caja de color morado oscuro al centro y para, *Fusarium* sp., al reverso de la caja de color amarillo al centro. Las macroconidias son típicamente en forma de canoa y multicelulares hialinas descritas por (Barnett & Hunter, 1998; Márquez-Fernández *et al.*, 2020). Mientras que para *Phoma costarricensis*, presento color pardo marrón oscuro al reverso de la caja Petri, se observó picnidios hialinos y clamidosporas solitarias tal como lo describe (Barnett & Hunter, 1998; Valenzuela-Lopez *et al.*, 2018). En cuanto para *Fomitopsis* spp., se observó cistidioles que se caracterizan por terminar en punta, y basidiosporas en forma oblongas fusiforme (Han & Cui, 2014; Salazar-Vidal, 2016).

La identidad de los patógenos fue confirmada molecularmente mediante extracción de ADN y amplificación de PCR con oligos de ITS1/ITS4 la amplificación y la secuenciación del espaciador del gen transcrito interno (ITS) del 18s del rDNA con los promers ITS4/ITS1 (White *et al.* 1990). lo que permitió confirmar la identidad taxonómica de cada aislamiento con mayor precisión. Los productos fueron secuenciados y comparados con la base de datos del Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI) mediante BLAST (Altschul *et al.* 1990). La cepa OC1 presento 99.37% de similitud con el género *Phoma costarricensis* (PX244525), la secuencia fue registrada el GenBank con número de acceso La cepa OC2 presento 100% de identidad *Fusarium solani*, la secuencia fue registrada el GenBank con número de acceso (PV242014). La cepa OC3 presentó 97.23% de similitud con el género *Fomitopsis meliae*, la secuencia fue registrada el GenBank con número de acceso (PV242016). Y La cepa OC4 presentó 100% de similitud con el género *Fusarium oxysporum*, la secuencia fue registrada el GenBank con número de acceso (PX216556).

Por otro lado Se determinó la incidencia para las variedades de café en la proporción de incidencia de la enfermedad (causada por *Damping-off*) en las diferentes variedades de café. Se observó que la variedad Sarchimor 1 % proporción de incidencia, Costa Rica y Marsellesa

presentaron arriba 0.50% presentaron las proporciones de incidencia más altas, mientras que Typica (0.25%) obtuvo la proporción baja. La variedad de café marsellesa presentó mayor severidad de acuerdo a la escala, ya que se encuentra en la escala 5, por otro lado, Typica, Marago presentó en menor escala (2). Para el índice de susceptibilidad fue los resultados de la incidencia y la severidad, como resultados las variedades con susceptibilidad altas fueron Marsellesa, Costa Rica y Sarchimor siendo Typica la variedad con menor susceptibilidad de un promedio 0.8 % (Menza & Peláez, 2016)(García Silvia *et al.*, 2019)

En este contexto el bioensayo de confrontación *in vitro* de *Trichoderma* contra *Fomitopsis meliae*, *Phoma costarricensis*, y *Fusarium* sp., se encontró que *T. reesei*, presentó PICR de 68% para *Fomitopsis meliae*, 60% de PICR contra *Fusarium oxysporum*, mientras que un 56% de PICR contra *Fusarium solani*, y 59 % para *Phoma costarricensis*, lo que indica una alta capacidad para inhibir el crecimiento de estos hongos fitopatógenos. Esta estrategia resultados son para cumplir con el objetivo número 3 Evaluar un biofungicida como de control. Resultados similares se han reportado en cultivos duales de *Trichoderma*.(Santos *et al.*, 2023) Se observó una alta actividad antifúngica (>80%) en ensayos duales *in vitro* en medio PDA, Las tres especies de *Trichoderma* sobrepasaron completamente la colonia del patógeno, mostrando hiperparasitismo.

Por otro lado Athafah *et al.*, (2020) menciona que *T. virens* HZA14 posee micoparasitismo, y que la rápida desintegración de las colonias está claramente relacionada con otro mecanismo. Las observaciones microscópicas demostraron que una hifa parcialmente muerta de *P. capsici* podría estar relacionada con compuestos antagónicos producidos por *T. virens* en la zona de interacción de la desaparición de las hifas de *P. capsici*.

Las pruebas antagónicas mostraron que todas las cepas de *Trichoderma* inhibieron el crecimiento de las cepas *F. culmorum* y *F. cerealis* analizadas. Después de 5 días de incubación, la tasa de inhibición del patógeno osciló entre el 24% y el 66%, En todas las combinaciones de bicultivo, las cepas de *Trichoderma* redujeron significativamente los niveles de las toxinas analizadas. Se ha reportado algunos metabolitos biosintetizados por *T. harzianum* (es decir, peptaiboles de 14 aminoácidos, T22-azofilona y ácido harziánico) causaron estrés oxidativo severo e inhibieron el crecimiento de *F. culmorum* (Modrzewska *et al.*, 2022).

En este estudio demuestran que las cepas de *Bacillus* (Cepa17 *Bacillus subtilis* y Cepa 49 *Bacillus amyloliquefaciens*) ejercieron un efecto antagónico significativo contra los patógenos con porcentajes de inhibición de crecimiento radial (PICR) que oscilaron entre 18% y 57 % ($p < 0.001$). *Fomitopsis meliae* presento 53% y *Phoma costarricensis* 52 % de PICR para cepa 49, mientras que *Fusarium solani* presento 57 % y *Fusarium oxysporum* 45 % de PICR, Este hallazgo confirma el potencial de *Bacillus* como agente de biocontrol en enfermedades de plántulas de café (Cawoy *et al.*, 2015)

Dando continuidad a los estudios del comportamiento fitopatológico, la prueba de patogenicidad se llevó a cabo en nueve variedades de café, en las cuales se sembraron las semillas previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio al 10% y etanol al 70%. Dichas variedades se sembraron en vasos de unicel de 14 fl oz, utilizando arena estéril como sustrato. Se prepara una suspensión conidial de cuatros aislados con una concentración de 4×10^4 esporas/ml para *Fomitopsis meliae*, 1×10^6 esporas/ml para las cepas de *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* y 10^4 para *Phoma costarricensis*. La primera inoculación fue al momento de la siembra, para cada variedad se inocularon a 20 semillas, siguiendo las inoculaciones cada 15 días después de la siembra, hasta la emergencia (59 días). Asimismo, se inocularon semillas control utilizando con agua destilada estéril. A los 45 días después de haber emergido, las plántulas afectadas por *Damping-off* presentaron (muerte de talluelo, acompañado de necrosamiento en la base del tallo y en la zona del cuello radicular, además, se observaron lesiones necróticas de color negro en su sistema radicular de color negras y podredumbre. Las plantas estaban atrofiadas en comparación con las plantas sanas de control. Las cepas inoculadas fueron recuperadas y se identificó morfológica y molecularmente como *Phoma costarricensis*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* y *Fomitopsis meliae*, confirmando así su patogenicidad hacia las variedades de café (Sarmiento-López *et al.*, 2024).

CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados de este estudio confirman la identificación de los principales agentes asociados al *damping-off* en plántulas de café corresponden a *Fomitopsis meliae*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* y *Phoma costarricensis*. El cual amplía el conocimiento sobre su etiología en viveros de café. En el análisis de susceptibilidad varietal mostró diferencias significativas entre las variedades evaluadas. Marsellesa, Costa Rica y Sarchimor presentaron la mayor incidencia y severidad de la enfermedad, mientras que Typica y Cerezo Amarillo fueron menos susceptibles, lo cual destaca la relevancia de la selección de variedades como una estrategia de manejo preventivo. Los bioensayos in vitro demostraron que las cepas de *Trichoderma* y las cepas de *Bacillus* ejercen un efecto inhibitorio importante sobre los patógenos identificados. En particular, *Trichoderma reesei* (cepa 11), *Bacillus subtilis* (Cepa17) y *Bacillus amyloliquefaciens* (Cepa 49) presentaron mayores porcentajes de inhibición frente a *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Phoma costarricensis* y *Fomitopsis meliae*, confirmando su potencial como agente de biocontrol en el manejo del *Damping-off*.

ANEXOS



Figura.- 1 Semilleros rústicos de café



Figura.- 2 Plántulas con sintomatologías del *Damping-off*

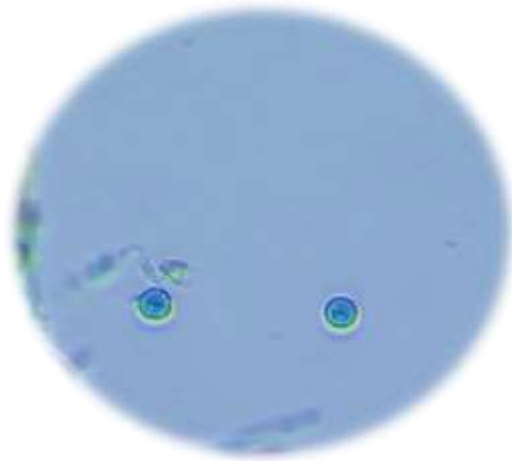


Figura 3.- Clamidosporas de *Phoma* observado con el objetivo (40x)

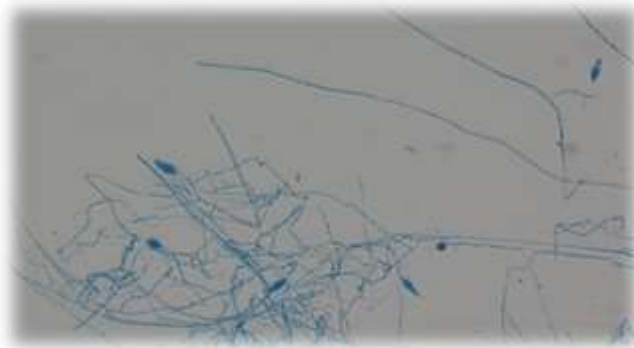


Figura 4.- Basidiosporas de *Fomitopsis meliae* observado (40x)



Figura 5.- Siembra de semillas de siete variedades de café prueba de patogenicidad



Figura 6.- Prueba de patogenicidad del *Damping-off* en plántulas de café

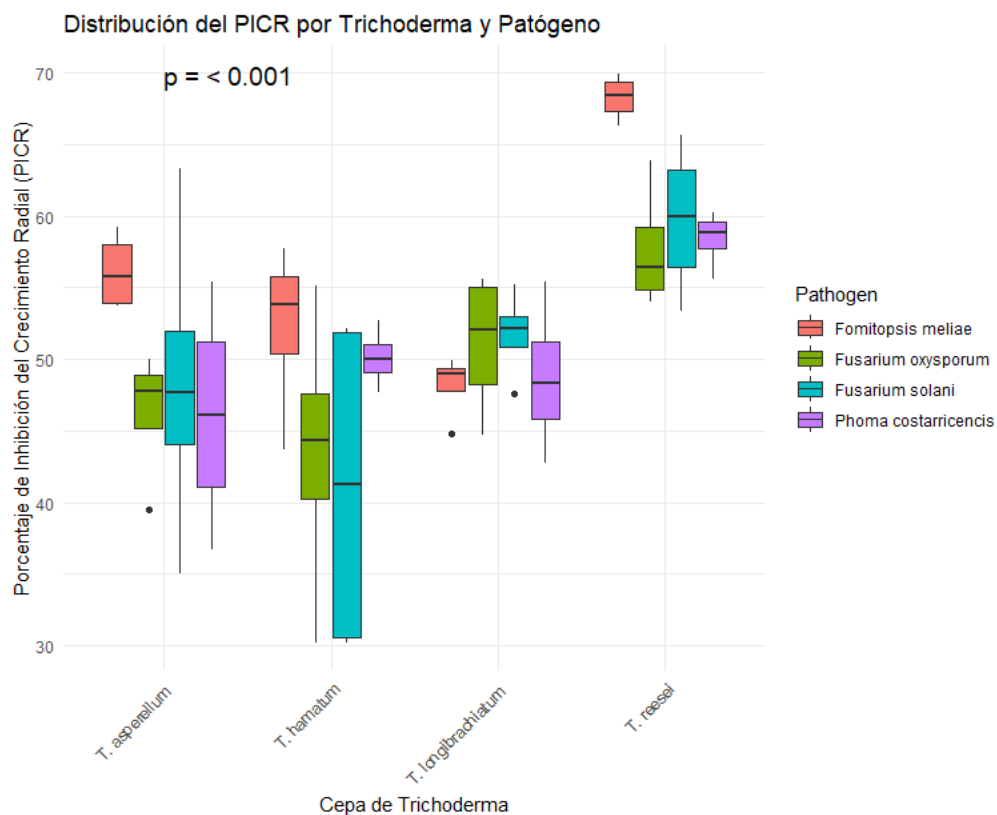


Figura 7.- confrontación *in vitro* de patógenos del *Damping-off* contra cepas de *Trichoderma* sp.

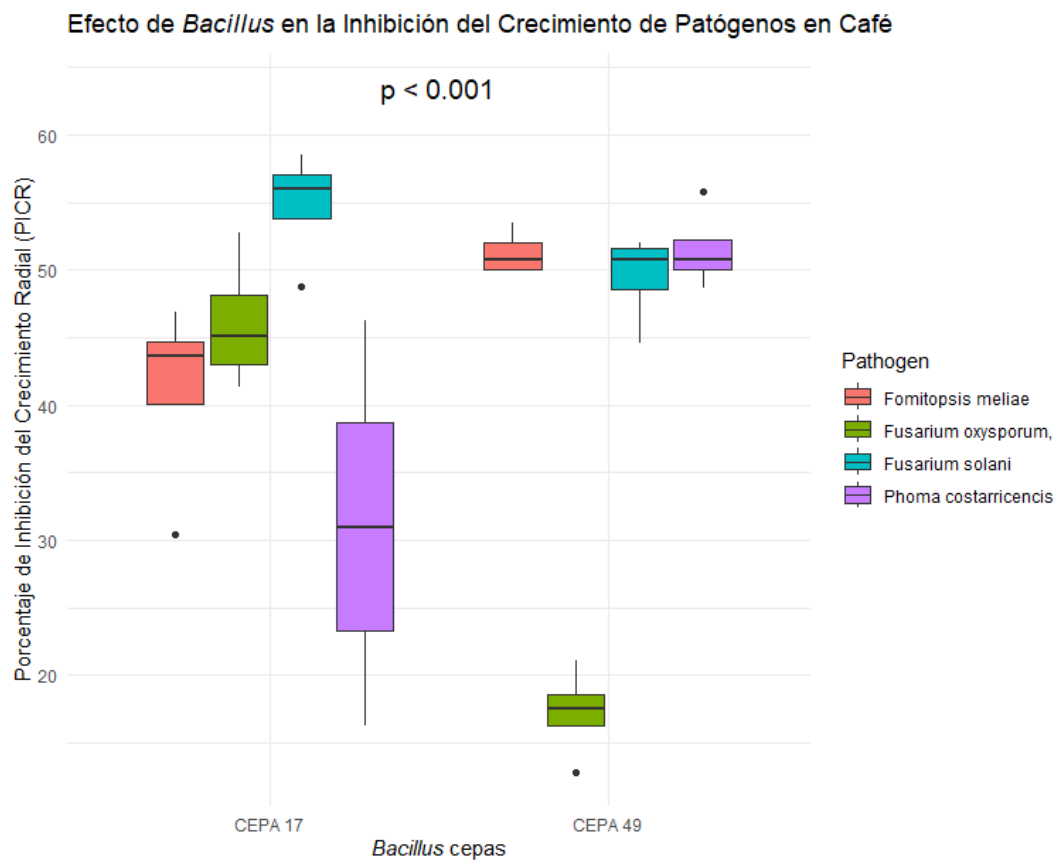


Figura 8.- confrontación *in vitro* de patógenos del *Damping-off* contra cepas de *Bacillus* sp.

BIBLIOGRAFÍA

- Athafah, A., Sabah, I., Alamer, A., Li, B., & Zhang, J. (2020). A new species of *Trichoderma* and gliotoxin role : A new observation in enhancing biocontrol potential of *T. virens* against *Phytophthora capsici* on chili pepper. *Biological Control*, 145(March), 104261. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104261>
- Badii, M. H., & Abreu, J. L. (2006). Control biológico una forma sustentable de control de plagas. *International Journal of Good Consciene*, 1(1), 82–89.
- Barnett, H. L., & Hunter, B. b. (1998). Ilustrad general of imperfect fungi. *Libro, Forth edit*.
- Barrera, J. F., Herrera, J., Villacorta, A., & Cruz, L. (2006). *Trampas de metanol-etanol para detecci ón , moni toreo y control*. 71–83.
- Bernaola Soto, B. K., & Mendoza Cardenas, W. (2023). Efecto del lixiviado como biocontrolador del *Damping - Off* en la producción de plantones de café (*Coffea Arábica* L.) en vivero. *Interciencia*, 1(1), 1–100. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/37111/1/T026_04069666_M.pdf
- Calvo, P., & Zúñiga, D. (2010). Caracterización fisiológica de cepas de *Bacillus* spp. aisladas de la rizósfera de papa (*Solanum tuberosum*). *Ecología Aplicada*, 9(1–2), 31. <https://doi.org/10.21704/rea.v9i1-2.393>
- Cárdenas, M. del C., Valentino, R., Brito, M., Giraldo, H., & Aquino, A. (2007). *Biología de la broca del café , Hypothenemus hampei Ferrari (Coleoptera : Curculionidae) bajo condiciones de campo , en el estado Táchira , Venezuela . 22*(February 2000), 49–55.
- Castro Caicedo, B. L. (2003). Mal de hilachas o arañera: *Corticium koleroga* Cooke. In *Enfermedades del cafeto en Colombia* (Issue En enfermedades del cafeto en Colombia, pp. 133–136). https://doi.org/10.38141/10791/0025_16
- Cawoy, H., Debois, D., Franzil, L., De Pauw, E., Thonart, P., & Ongena, M. (2015). Lipopeptides as main ingredients for inhibition of fungal phytopathogens by *Bacillus subtilis*/amyloliquefaciens. *Microbial Biotechnology*, 8(2), 281–295. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12238>
- Choappa, R. C., Amigo, F., & Goecke, A. (2022). El género *Trichoderma*. *Revista Chilena de Infectologia*, 39(4), 499–500. <https://doi.org/10.4067/s0716-10182022000400499>

- Cohn, F. (1872). *Untersuchungen über Bacterien*. 1, 127–224.
<https://doi.org/http://www.biodiversitylibrary.org/item/27353#page/287/mode/1up>
- Constantino, L. M., Flórez, J. C., Benavides, P., & Bacca, T. (2011). *Minador de las hojas del cafeto*. 1–4.
- Correa, E., Ortiz, C. F., De la Cruz, M., Bautista, C. M., Rivera, M. C., & Lagunes, L. C. (2011). Etiología de la Mancha Acuosa de la Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) en Tabasco , México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 29, 165–167.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v29n2/v29n2a8.pdf>
- Damon, A. (2000). A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Bulletin of Entomological Research*, 90(6), 453–465.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S0007485300000584>
- David-Rueda, G., Constantino, L. M., Montoya, E. C., Ortega, O. E., Gil, Z. N., & Benavidez-Machado, P. (2015). *Diagnóstico de Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) y sus parasitoides en el departamento de Antioquia, Colombia. 42(1), 89.
<http://www.bdigital.unal.edu.co/48293/>
- De Abreu, L. M., & Pfenning, L. H. (2019). Trichoderma: uso na agricultura. In *Embrapa Soja*.
<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/208230/1/livro-trichoderma-online-06.01.20.pdf>
- Ekwomadu, T. I., & Mwanza, M. (2023). Fusarium Fungi Pathogens, Identification, Adverse Effects, Disease Management, and Global Food Security: A Review of the Latest Research. *Agriculture (Switzerland)*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/agriculture13091810>
- Flores, F. (2015). *Ventana de oportunidad para el sector agrícola de chiapas*. iV(7), 174–194.
<https://doi.org/10.31644/IMASD.7.2015.a07>
- García Silvia, Pérez Omar, & Marín Víctor. (2019). *Incidencia y severidad por Fusarium spp., y umbral de daño ocasionado por moscas fungosas Bradysia y Lycoriella informe final 1a etapa-diciembre 2019*.
- Garza López, P. M., Espitia López, J., Cornejo Velázquez, E., Acevedo Sandoval, O. A., & Arce Vargas, O. (2025). Estrategias de inovacion en la produccion tradicional de café: el caso de los pequeños productores de la region de Otomí-Tepehua, Hidalgo Mexico. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1).
<http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng->

- 8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_sistem_pembetungan_terpustat_strategi_melestari
- Gonzales Acosta, A., Roberto Alejandro, M. R., López M., M., Hernández S., M. de la luz, & González Castro, A. (2013). Alternativas para el manejo de Damping off en plántulas de tomate *Lycopersicum esculentum* Mill (L, 1753) (Solanales: Solanaceae). *Revista Científica Biológico Agropecuara Tuxpan*, 1(1), 1–11.
- Granados-Montero, M. del M. (2015). *Estudio de la epidemiología y alternativas de manejo agroecológico del ojo de gallo (mycena citricolor) en cafeto bajo sistemas agroforestales en costa rica Tesis*.
- Han, M. L., Chen, Y. Y., Shen, L. L., Song, J., Vlasák, J., Dai, Y. C., & Cui, B. K. (2016). Taxonomy and phylogeny of the brown-rot fungi: Fomitopsis and its related genera. *Fungal Diversity*, 80(1), 343–373. <https://doi.org/10.1007/s13225-016-0364-y>
- Han, M. L., & Cui, B. K. (2014). Morphological characters and molecular data reveal a new species of Fomitopsis (Polyporales) from southern China. *Mycoscience*, 56(2), 168–176. <https://doi.org/10.1016/j.myc.2014.05.004>
- Hernández, C., López Escobar, L., & Sánchez, L. (2021). Agentes de control biológico de la roya del café ¿Cómo funcionan y qué tan efectivos son?. *BioTecnología*, 25(1), 21–30. https://www.researchgate.net/publication/351458737_Agentes_de_control_biologico_de_la_roya_del_cafe_Como_funcionan_y_que_tan_efectivos_son
- Hernández Hernández, E. J., Hernández Ríos, I., Almaraz Suarez, J. J., López López, A., Torres Aquino, M., & Morales Flores, F. J. (2018). Caracterización in vitro de rizobacterias y su antagonismo con hongos causantes del damping off en Chile. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(3), 525–537. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.335>
- Howell, C. R., Stipanovic, R. D., & Lumsden, R. D. (1993). Antibiotic production by strains of *Gliocladium virens* and its relation to the biocontrol of cotton seedling diseases. *Biocontrol Science and Technology*, 3(4), 435–441. <https://doi.org/10.1080/09583159309355298>
- Instituto Nacional de la Economía Social. (2019). *Historia del café y su cultivo*. [https://www.gob.mx/inaes/articulos/historia-del-cafe-y-su-cultivo?idiom=es#:~:text=El café ocupa el primer,de una familia puede realizarlo.](https://www.gob.mx/inaes/articulos/historia-del-cafe-y-su-cultivo?idiom=es#:~:text=El%20café%20ocupa%20el%20primer,de%20una%20familia%20puede%20realizarlo.)
- Jaramillo, J., Borgemeister, C., & Baker, P. (2006). Broca del café *Hypothenemus hampei*

- (Coleoptera: Curculionidae): en busca de estrategias de control sostenibles. *Boletín de Investigación Entomológica*, 66(3), 223–233.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1079/BER2006434>
- Jiménez, P. O., Gallegos, M. G., D., H. C. F., Espinosa, A. C. A., Castro del Angel, E., & Sanchez, Y. J. M. (2023). *Actividad antagónica de Pseudomonas donghuensis y Bacillus subtilis para el manejo de fitopatógenos del “ Damping off ” del cultivo del chile . Antagonistic activity of Pseudomonas donghuensis and Bacillus subtilis for the management of “ Damping off ” ph. 1–15.*
- Laemmlen, F. (2002). Damping-off diseases. *Damping-Off Diseases*.
<https://doi.org/10.3733/ucanr.8041>
- Liberio-Miranda, J. D. (2023). *Manejo del mal de hilachas (Pellicularia koleroga) en el cultivo de Café (Coffea arabica) ”.*
- López, F. J., Escamilla, E., Zamarripa, A., & Cruz, J. G. (2016). Producción y calidad en variedades de café (Coffea arabica L.) en Veracruz, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(3), 297–304. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802016000300297&lng=es&nrm=iso&tlng=
- López, U., Brito, H., López, D., Salaya, J., & Gómez, E. (2017). Papel de trichoderma en los sistemas agroforestales-cacaotal como un agente antagónico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(1), 91–100.
- Márquez-Fernández, O., Medel-Ortiz, R., Palestina, E. N., & Belingheri, M. E. (2020). Identificación de dos cepas de Fusarium productoras de pigmentos aisladas de Bemisia sp. (Hemiptera). *Scientia Fungorum*, 50(August 2019), e1262.
<https://doi.org/10.33885/sf.2020.50.1262>
- Martínez, B., Infante, D., & Peteira, B. (2015). Taxonomía polifásica y variabilidad en el género Trichoderma Polyphasic taxonomy and variability in the genus Trichoderma. *Rev. Protección Veg*, 30(5), 11–22.
- Menza, H. D., & Peláez, M. J. (2016). Epidemiología de la muerte descendente del cafeto (phoma spp) en tres sistemas de producción de café. *Cenicafé*, 67(2), 66–77.
<https://www.cenicafe.org/es/publications/5.Epidemiología.pdf>
- Mesa, P. (2023). Métodos de control de Plagas y Enfermedades en huertos ecológicos. *AgroHuerto*, 13–15. <https://www.agrohuerto.com/control-de-plagas-y-enfermedades-en->

huertos-ecologicos/

- Miguel-González, Alemán, M., Ramírez, G., & Navarro, D. (2024). *Bacillus* Una bacteria versátil, multifuncional y ampliamente aplicada. *Biología Y Sociedad*, 7 (13), 73–81.
<https://biologiaysociedad.uanl.mx/index.php/b/article/view/108>
- Modrzewska, M., Blaszczyk, L., Stepień, L., Urbaniak, M., Waskiewicz, A., Yoshinari, T., & Bryła, M. (2022). *Trichoderma versus Fusarium — Inhibition of Pathogen Growth*.
- Moreira-Morrillo, A. A., Vélez-Zambrano, J. P., Moreira, S. I., & Garcés-Fiallos, F. R. (2023). Diseases affecting the coffee crop: Elucidating the life cycle of Rust, Thread Blight and Cercospora Leaf Spot. *Scientia Agropecuaria*, 14(3), 395–412.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.035>
- Moreno-Rico, O., Manzano-Flores, D. E., & Luna-Ruiz, J. J. (2005). Reacción de variedades de coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) y brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica* L.) a *Phomalingam* (Tode ex Fr.) Desm. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 23(2), 206–210.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61223215>
- Munkvold, G. P., Proctor, R. H., & Moretti, A. (2021). Mycotoxin Production in *Fusarium* According to Contemporary Species Concepts. *Annual Review of Phytopathology*, 59, 373–402. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-020620-102825>
- Nikitin, D. A., Ivanova, E. A., Semenov, M. V., Zhelezova, A. D., Ksenofontova, N. A., Tkhakakhova, A. K., & Kholodov, V. A. (2023). Diversity, Ecological Characteristics and Identification of Some Problematic Phytopathogenic *Fusarium* in Soil: A Review. *Diversity*, 15(1), 1–18. <https://doi.org/10.3390/d15010049>
- Ramírez, D., & García, F. (2021). Manejo del minador de la hoja (*leucoptera coffella*) en el cultivo de café en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 45(2), 143–153.
- Ren, S. F., Bao, W. J., Li, F., Li, C. Y., Dong, W. H., Yang, G. H., & Duan, C. H. (2018). First Report of Damping-Off on Seedlings of Coffee Caused by *Rhizoctonia solani* AG-4 HG I, AG-1 IB and Binucleate *Rhizoctonia* AG-A in China. *Plant Disease*, 102(8), 1658.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-12-17-2010-PDN>
- Rivillas-Osorio, C. A., Saerna-Giraldo, C. A., Cristancho-Ardila, M. A., & Gaitán-Bustamante, A. L. (2011). *La roya del cafeto en colombia impacto, manejo y costo del control*. 30.00, 1–53.
- Salazar-Vidal, V. E. (2016). *Manual de Micología Básica* (Issue October).

- <https://www.researchgate.net/publication/333774015>
- Santos, M., Di, F., Brenda, S., Huertas, V., Moreno-gavira, A., Garrido-c, A., & Gea, F. J. (2023). *Biocontrol of Diseases Caused by Phytophthora capsici and P . parasitica in Pepper Plants*.
- Sarmiento-López, H., Hernández-Marín, D. A., Chávez-Montes, A., García-Rodríguez, J. L., Sigala-Rodríguez, J. Á., & Sánchez-García, E. (2024). Morfología y patogenicidad de Fusarium aislado de pino en viveros de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(5), e3722. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i5.3722>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). *Hablemos de... la agricultura en México (Parte 1)*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/hablemos-de-la-agricultura-en-mexico-parte-1>. <https://doi.org/https://www.gob.mx/agricultura>
- SENASICA. (2019). Roya del cafeto Hemileia vastatrix & Brome. *Dirección General de Sanidad Vegetal-Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. Ciudad*, 40, 1–23. <http://www.cesaveson.com/files/docs/campanas/vigilancia/fichas2016/ROYAcafeto.pdf>
- Serrano, L., & Galindo, E. (2007). Control biológico de organismos fitopatógenos: un reto multidisciplinario. *Ciencia*, 77–88.
- Soto-Medina Edier, & Bolaños-Rojas Ana Cristina. (2013). Hongos macroscópicos en un bosque de niebla intervenido, vereda Chicoral, Valle del Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 14(2), 1–12. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49131094001>
- Sun, J., Yang, H., Ge-Zhang, S., Chi, Y., & Qi, D. (2024). Identification of a Fomitopsis pinicola from Xiaoxing'an Mountains and Optimization of Cellulase Activity. *Forests*, 15(9), 1–13. <https://doi.org/10.3390/f15091673>
- Valenzuela-Lopez, N., Cano-Lira, J. F., Guarro, J., Sutton, D. A., Wiederhold, N., Crous, P. W., & Stchigel, A. M. (2018). Coelomycetous Dothideomycetes with emphasis on the families Cucurbitariaceae and Didymellaceae. *Studies in Mycology*, 90(November 2017), 1–69. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2017.11.003>
- Viera Arroyo, W. F., Torres Tello, C. M., Aníbal Arturo, M. S., Daniel Fernando, N. S., Lorena Anabel, M. R., Alex Gabriel, D. P., Cynthia Estefanía, P. Q., Ana Katherine, P. V., Francisco Javier, B. C., Wilson Arturo, V. C., & Trevor, J. (2020). Control Biológico: Una herramienta para una agricultura sustentable, un punto de vista de sus beneficios en Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 128–149.

http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v8n2/v8n2_a06.pdf

Villarreal-Delgado, M. F., Villa-Rodríguez, E. D., Cira-Chávez, L. A., Estrada-Alvarado, M. I., Parra-Cota, F. I., & De los Santos-Villalobos, S. (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 36(1), 95–130.

<https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-5>

Wong Paz, J. E., Guyot, S., Herrera, R. R., Sánchez, G. G., Juan, C., Esquivel, C., Saucedo, G., & Aguilar, C. N. (2013). Alternativas Actuales para el Manejo Sustentable de los Residuos de la Industria del Café en e n México Current Alternatives for Sustainable Management of Coffee Industry By- By - Products i n Mexico. *Revista Científica de La Universidad Autónoma de Coahuila*, 10, 33–40.

Zamora, K., Castro, L., Wang, A., Arauz, L. F., & Uribe, L. (2017). Uso potencial de lixiviados y téis de vermicompost en el control del ojo de gallo del cafeto *Mycena citricolor*. *Agronomía Costarricense*, 41(1), 33–51. <https://doi.org/10.15517/rac.v41i1.29747>

Zeilinger, S., Gruber, S., Bansal, R., & Mukherjee, P. K. (2016). Secondary metabolism in *Trichoderma* - Chemistry meets genomics. *Fungal Biology Reviews*, 30(2), 74–90. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2016.05.001>