



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA
EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**ÁREA TEMÁTICA
FISIOLOGÍA Y GENÉTICA VEGETAL**

**DEGRADACIÓN DE LA MADERA DE ÁRBOLES DE *Persea
americana* Mill cv. Hass POR PUDRICIÓN BLANCA CAUSADA
POR HONGOS CORTICIOIDES**

Que como requisito para obtener el grado de
Maestro en Ciencias Biológicas

Presenta:

Ing. José Julio Rodríguez Aguilar

Asesora:

Dra. Margarita Vargas Sandoval

Codirector:

Dr. Juan Mendoza Churape

Morelia, Michoacán marzo de
2026

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Hipótesis.....	2
1.2. Objetivo general.....	2
1.3. Objetivos específicos.....	2
1.4. Planteamiento del problema.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1. Importancia del cultivo de aguacate en México.....	6
2.2. Factores que limitan la producción de aguacate.....	6
2.3. Hongos corticioides.....	8
2.4. Hongos corticioides asociados a pudrición blanca: mecanismos implicados en la de degradación del tejido leñoso.....	9
2.5. Antecedentes de pudrición blanca en aguacate.....	11
2.6. Clasificación y contexto taxonómico de la clase Agaricomycetes.....	12
2.7. Orden Polyporales y su relevancia para hongos corticioides lignícolas.....	13
2.8. Características morfológicas diagnósticas de los hongos corticioides.....	14
2.9. Ciclo de vida y estrategias de colonización del leño.....	15
2.10. Pudrición blanca asociada a hongos corticioides: base y relevancia fitopatológica.....	15
2.11. Síntomas y signos asociados a la pudrición blanca en árboles.....	16
2.12. Hospederos y relevancia agrícola/forestal de hongos corticioides.....	17
2.13. Herramientas moleculares para la identificación y delimitación de hongos corticioides.....	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Recolección de muestras en campo.....	19
3.2. Ubicación del área experimental.....	19
3.3. Síntomas observados en campo.....	19
3.4. Identificación molecular.....	22
3.5. Análisis filogenético.....	23
3.6. Conservación de cepas y preparación de inóculo.....	24
3.7. Pruebas de patogenicidad.....	25
3.8. Procedimiento de inoculación.....	25
3.9. Interacción del fitopatógeno sobre tejido leñoso.....	26
3.10. Análisis de la información y variables de respuesta.....	27
3.11. Análisis estadístico.....	28
IV. RESULTADOS.....	30
4.1. Síntomas observados en campo.....	30
4.2. Aislamientos fúngicos obtenidos a partir de tejido leñoso de aguacate.....	30
4.3. Caracterización morfológica de cepas.....	31
4.4. Caracterización morfológica del carpóforo.....	32

4.4.1.	Caracterización morfológica de carpóforos de <i>Grammothele</i> spp. correspondiente a los aislados CSA y CG1.....	33
4.4.2.	Caracterización morfológica de carpóforos de <i>D. portoricense</i> correspondiente al aislado C8.....	36
4.5.	Pruebas de patogenicidad en plántulas de aguacate.....	38
4.6.	Incidencia, severidad y agresividad de hongos corticioides.....	38
4.7.	Identificación patogénica de hongos corticioides.....	40
4.8.	Identificación molecular.....	47
4.8.1.	Aislamientos de <i>Grammothele</i> (CG1 y CSA).....	47
4.8.2.	Aislamiento de <i>Dentocorticium</i> (C8).....	48
V.	DISCUSIÓN.....	52
5.1.	Identificación de hongos corticioides mediante caracterización morfológica y análisis filogenéticos.....	52
5.2.	Patogenicidad, severidad y agresividad de los aislamientos.....	52
VI.	CONCLUSIONES.....	54
VII.	LITERATURA CITADA.....	55

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Características de los sitios donde se recolectaron hongos corticioides de pudrición blanca en huertos de aguacate (<i>Persea americana</i> cv. Hass) ubicados en distintos municipios de Michoacán, México.....	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Carpóforos de corticioides de pudrición blanca ubicados en árboles de aguacate (<i>Persea americana</i> cv. Hass)	20
2	Cepas de corticioides de pudrición blanca, en medio de cultivo PDA, aisladas de carpóforos, tallo y ramas de árboles de aguacate (<i>Persea americana</i> cv. Hass) con síntomas de pudrición blanca.....	31
3	Micrografías de estructuras hifales de basidiomicetos observadas al microscopio óptico.....	32
4	Morfología descrita para <i>Grammothele</i> sp. carpóforos resupinados asociados a madera de árboles de aguacate (<i>Persea americana</i> cv. Hass) correspondientes al aislado CSA.....	34
5	Carpóforos resupinados de <i>Grammothele</i> sp. correspondientes al aislado CG1, asociados a árboles de aguacate (<i>Persea americana</i> cv. Hass)	35
6	Carpóforos resupinados de <i>Dentocorticium portoricense</i> , correspondientes al aislado C8 desarrollados sobre tronco y ramas de árboles de aguacate (<i>Persea americana</i> cv. Hass).....	37
7	Resultados de las pruebas de patogenicidad de los aislamientos de hongos corticioides evaluados.....	39
8	Patogenicidad – <i>Grammothele</i> sp. evidencia visual de patogenicidad y signos asociados a aislamientos de <i>Grammothele</i> sp. en plántulas de aguacate (<i>Persea americana</i> cv. Hass) correspondientes al aislado CG1.....	42
9	Síntomas y signos observados en pruebas de patogenicidad con <i>Grammothele</i> sp; en plántulas de aguacate (<i>Persea americana</i> cv. Hass) y sustratos leñosos, correspondientes al aislado CSA.....	44
10	Síntomas y signos observados en pruebas de patogenicidad de <i>Dentocorticium portoricense</i> en plántulas de aguacate (<i>Persea americana</i> cv. Hass) y su crecimiento en cultivo, correspondientes al aislado C8.....	46
11	Árbol filogenético del género <i>Dentocorticium</i> correspondiente al aislado C8 basado en secuencias ITS, obtenido mediante inferencia bayesiana.....	49
12	Árbol filogenético del género <i>Grammothele</i> correspondientes a los aislados CG1 y CSA, basado en secuencias ITS, obtenido mediante inferencia bayesiana.....	51

RESUMEN

La degradación de la madera en árboles de aguacate constituye un problema fitosanitario de importancia creciente, asociado a su carácter crónico, a las limitantes en su detección temprana y al deterioro progresivo que ocasiona en el tejido leñoso. El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar integralmente a los hongos corticioides asociados a la pudrición de la madera de árboles de aguacate adultos, mediante la evaluación de la sintomatología en campo, la caracterización morfológica de los carpóforos, pruebas de patogenicidad y análisis de reconstrucción filogenética. En campo, los árboles afectados presentaron síntomas consistentes con decaimiento progresivo, clorosis foliar, marchitez, muerte celular de ramas y muerte regresiva, asociados a la presencia de carpóforos resupinados firmemente adheridos al sustrato leñoso. La caracterización morfológica permitió asociar rasgos compatibles con los géneros *Grammothele* y *Dentocorticium*; sin embargo, la alta plasticidad morfológica observada no permitió la delimitación específica basada únicamente en los caracteres macroscópicos. Las pruebas de patogenicidad confirmaron la capacidad de los aislamientos de *Dentocorticium portoricense* (C8) y *Grammothele* sp. (CG1 y CSA) evaluados para inducir síntomas similares a los observados en campo. El análisis de incidencia, severidad y área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC) evidenció diferencias significativas en el comportamiento patogénico, destacando una mayor agresividad del aislamiento identificado como *Dentocorticium portoricense* en comparación con los aislamientos de *Grammothele*, los cuales mostraron una progresión más lenta (125 días después de la inoculación) y moderada de la enfermedad. La caracterización molecular basada en la región ITS corroboró la asignación genérica de los aislamientos y sustentó la identificación del aislamiento C8 como *D. portoricense*, mientras que los aislamientos CG1 y CSA se agruparon dentro del género *Grammothele* sp. sin resolución específica. En conjunto, los resultados resaltan la importancia de un enfoque integrativo para el estudio de hongos corticioides asociados a enfermedades de la madera y aportan información relevante para el diagnóstico, monitoreo y manejo fitosanitario del cultivo de aguacate.

Palabras clave: Corticioides, Pudrición de tallo y ramas, *Grammothele* / *Dentocorticium*, Reconstrucción filogenética, ITS.

ABSTRACT

Wood degradation in avocado trees represents a phytosanitary problem of increasing importance, associated with its chronic nature, limitations in early detection, and the progressive deterioration it causes in woody tissues. The objective of this study was to comprehensively characterize corticioid fungi associated with wood rot in mature avocado trees through field symptom assessment, morphological characterization of basidiomata, pathogenicity tests, and phylogenetic reconstruction analyses. In the field, affected trees exhibited symptoms consistent with progressive decline, including foliar chlorosis, wilting, branch cell death, and dieback, which were associated with the presence of resupinate basidiomata firmly attached to the woody substrate. Morphological characterization revealed features consistent with the genera *Grammothele* and *Dentocorticium*; however, the high degree of morphological plasticity observed prevented species-level delimitation based solely on macroscopic characters. Pathogenicity tests confirmed the ability of the evaluated isolates, *Dentocorticium portoricense* (C8) and *Grammothele* sp. (CG1 and CSA), to induce symptoms similar to those observed under field conditions. Analyses of disease incidence, severity, and the area under the disease progress curve (AUDPC) revealed significant differences in pathogenic behavior, with the isolate identified as *D. portoricense* exhibiting greater aggressiveness compared to *Grammothele* isolates, which showed a slower and more moderate disease progression, with symptom development occurring approximately 125 days after inoculation. Molecular characterization based on the ITS region corroborated the generic assignment of the isolates and supported the identification of isolate C8 as *D. portoricense*, whereas isolates CG1 and CSA clustered within the genus *Grammothele* without species-level resolution. Overall, the results highlight the importance of an integrative approach for the study of corticioid fungi associated with wood diseases and provide relevant information for the diagnosis, monitoring, and phytosanitary management of avocado cultivation.

Keywords: Corticioid; Wood rot of stems and branches; *Grammothele* / *Dentocorticium*; Phylogenetic reconstruction; ITS.

I. INTRODUCCIÓN

Los hongos pertenecen al reino Fungi, uno de los grupos biológicos más extensos y diversos de la Tierra, cuyos integrantes desempeñan funciones ecológicas fundamentales en la biosfera. A través de sus distintos ciclos biológicos, participan activamente en procesos clave como el reciclaje de la materia orgánica dentro del ciclo del carbono y en el mantenimiento del equilibrio funcional de ecosistemas naturales, particularmente los forestales (Hyde, 2022).

Los organismos fúngicos se clasifican de acuerdo en características morfológicas, fisiológicas y moleculares, lo que ha permitido reconocer la diversidad taxonómica. Entre ellos, los hongos pertenecientes al filum Basidiomycota incluyen diversos grupos morfológicos con elevada relevancia ecológica y funcional, ampliamente representados dentro de la clase Agaricomycetes, los cuales presentan una amplia variabilidad en la morfología del carpóforo y en la presencia de estructuras cistidiales especializadas (Yurchenko y Wu, 2016; Riebesehl y Langer, 2017; Yurchenko *et al.*, 2017; Cui *et al.*, 2019; Riebesehl *et al.*, 2019; Jiang *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2022).

Los hongos corticioides (subfilo Agaricomycotina, filum Basidiomycota) constituyen un grupo polifilético caracterizado por carpóforos, de morfología generalmente resupinada, y una estrecha asociación con sustratos leñosos, aunque presentan una notable diversidad en sus estrategias tróficas. Desde los primeros reportes realizados por Karsten (1868), estos organismos fueron agrupados con base en similitudes morfológicas dentro de la familia Corticiaceae. Sin embargo, el desarrollo y aplicación de herramientas moleculares ha demostrado que los hongos corticioides pertenecen a múltiples linajes taxonómicos independientes. Diversos estudios han señalado que este grupo presenta una distribución cosmopolita y que muchas de sus especies están asociadas con procesos de pudrición blanca de la madera (Langer, 1994; Luo *et al.*, 2022; Guan *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2024).

La pudrición blanca es un tipo de degradación de la madera caracterizada por la capacidad de ciertos hongos para producir complejos enzimáticos, principalmente celulasas y ligninasas, que permiten la degradación simultánea de lignina, celulosa y hemicelulosa (Mena-Morales *et al.*, 2022). Durante el proceso de degradación de la madera, los componentes estructurales de la pared celular vegetal son removidos de manera relativamente homogénea, de tal forma que la madera en estados intermedios o avanzados de pudrición

conserva proporciones similares de lignina y polisacáridos en comparación con la madera sana (Kirk & Farrell, 1987; Blanchette, 1991; Schwarze *et al.*, 2000). Como consecuencia, la madera afectada pierde progresivamente sus propiedades mecánicas, aunque suele mantener su estructura fibrosa incluso en etapas avanzadas de degradación (Encinas & Mora, 2012).

La madera afectada por pudrición blanca adquiere una consistencia esponjosa, filamentosa o laminada, y generalmente presenta decoloraciones y manchas visibles en comparación con la madera sana (Encinas & Mora, 2012). Los síntomas que han sido documentados en árboles de aguacate (*Persea americana* Mill cv. Hass), y se han asociado a especies del género *Ganoderma* (Mendoza-Churape *et al.*, 2023) e *Hydnopoliporus fimbriatus* (Cisneros-Zambrano *et al.*, 2024).

No obstante, a pesar de la relevancia ecológica y económica del cultivo de aguacate, particularmente en la franja aguacatera del estado de Michoacán, México, el papel de los hongos corticioides como fitopatógenos potenciales asociados a procesos de degradación de la madera y pudrición blanca en este cultivo ha sido escasamente estudiado (Larsson, 2007).

En este contexto, el presente trabajo de investigación se enfoca en el estudio de los hongos corticioides asociados al tejido leñoso de árboles de aguacate.

1.1. Hipótesis

Existe diversidad de especies de hongos corticioides fitopatógenos causantes de pudrición blanca en árboles de aguacate (*Persea americana* cv. Hass).

1.2. Objetivo general

Identificar filogenéticamente y caracterizar morfológicamente a los ejemplares de hongos corticioides asociadas a la pudrición blanca del tejido leñoso de árboles de aguacate (*Persea americana* cv. Hass), en huertos de la franja aguacatera del estado de Michoacán.

1.3. Objetivos específicos

1. Identificar a las especies de hongos corticioides asociadas con pudrición blanca en árboles de aguacate, mediante caracterización morfológica y análisis filogenéticos.
2. Evaluar la patogenicidad y virulencia de los aislamientos de hongos corticioides mediante incidencia, severidad, AUDPC y los postulados de Koch.

1.4. Planteamiento del problema

El cultivo de aguacate (*Persea americana* cv. Hass) constituye una de las actividades agrícolas de mayor importancia económica y social en México, particularmente en el estado de Michoacán, sin embargo, la permanencia y productividad de los huertos se ven afectadas por agentes fúngicos que generan enfermedades asociadas a la madera, las cuales presentan un carácter crónico, diagnóstico complejo y limitada respuesta a las estrategias de manejo convencionales (Martínez-Ávila *et al.*, 2022).

Las enfermedades de la madera se manifiestan comúnmente como muerte celular interna del tejido leñoso, pudriciones, canchales, debilitamiento estructural, disminución del vigor y en etapas avanzadas, la muerte regresiva de ramas o del árbol completo. Diversos estudios han documentado la participación de hongos fitopatógenos pertenecientes principalmente a familias como Botryosphaeriaceae y Diaporthaceae, así como representantes del orden Polyporales, los cuales han sido asociados a procesos de degradación del xilema y pérdida progresiva de la funcionalidad vascular. Sin embargo, a pesar de estos avances, una proporción considerable de los aislamientos obtenidos a partir de madera afectada permanece sin una identificación taxonómica precisa o es atribuida a hongos tradicionalmente considerados como saprobios o de baja importancia fitopatológica (Slippers & Wingfield, 2007; Zmitrovich & Malysheva, 2018).

Dentro de este contexto, los hongos corticioides, son un conjunto morfológico diverso de Basidiomycota que incluye a diversas familias (Corticaceae, Hymenochaetaceae, Polyporaceae, Meruliaceae, Stereaceae), estrechamente asociado a sustratos leñosos, que ha sido escasamente estudiado en sistemas agrícolas perennes como el aguacate. Históricamente, los hongos corticioides han sido abordados desde una perspectiva ecológica y taxonómica, principalmente como descomponedores de madera muerta en ecosistemas forestales. Desde el punto de vista taxonómico, el abordaje clásico se fundamentó en caracteres morfológicos y anatómicos, tales como la forma y consistencia del carpóforo, el tipo de himenóforo, la estructura del sistema hifal y las características de las basidiosporas (Parmasto, 1968; Hjortstam *et al.*, 1981). Sin embargo, este enfoque condujo a la conformación de grupos artificiales, ya que el hábito efuso-resupinado fue utilizado como criterio principal de clasificación, sin reflejar necesariamente relaciones evolutivas reales entre las especies (Larsson, 2007).

Con el desarrollo de la biología molecular y la incorporación de marcadores genéticos como ITS y LSU, los análisis filogenéticos demostraron que los hongos corticioides constituyen un grupo polifilético, distribuido en múltiples linajes dentro de la clase Agaricomycetes (Binder *et al.*, 2013; Hibbett *et al.*, 2007). Estos avances dieron lugar a una reorganización taxonómica profunda, con la redistribución de numerosos géneros en distintas familias y órdenes, y al establecimiento de un enfoque basado en la taxonomía integrativa, que combina evidencia morfológica, ecológica y molecular para la delimitación de especies y grupos supraespecíficos (Larsson *et al.*, 2006; Telleria *et al.*, 2014).

No obstante, múltiples especies de hongos corticioides poseen la capacidad de producir complejos enzimáticos altamente eficientes para la degradación de lignina y otros componentes estructurales de la pared celular vegetal, lo que sugiere un potencial papel como fitopatógenos al estar implicados en procesos de pudrición blanca en tejidos leñosos vivos.

En huertos de aguacate de la franja aguacatera de Michoacán se han observado con frecuencia síntomas en troncos y ramas principalmente, compatibles con pudrición blanca, tales como madera blanda, fibrosa, descolorida y con pérdida gradual de resistencia mecánica, los cuales han sido asociados principalmente a los hongos poliporoides. Sin embargo, la presencia recurrente de carpóforos resupinados y colonización superficial de la madera, características típicas de hongos corticioides, sugiere que estos organismos podrían estar participando activamente en los procesos de degradación del tejido leñoso. A pesar de estas observaciones, existe una ausencia de estudios sistemáticos que evalúen la identidad taxonómica, diversidad específica y capacidad patogénica de los hongos corticioides asociados a la madera de árboles de aguacate (Larsson, 2007; Ruiz-Gómez & Sánchez-García, 2020).

La falta de información sobre el papel de los hongos corticioides en la degradación de la madera de aguacate limita la comprensión integral de la etiología de las enfermedades de la madera en este cultivo. Asimismo, dificulta el desarrollo de estrategias de diagnóstico temprano y manejo fitosanitario basadas en el conocimiento preciso de los agentes involucrados. En este sentido, resulta necesario implementar estudios que integren muestreos dirigidos en campo, identificación y molecular, caracterización morfológica, así como pruebas de patogenicidad, con el fin de esclarecer si los hongos corticioides asociados al tejido leñoso de aguacate que poseen capacidad patogénica y contribuyen a los procesos de

podridón blanca observados en los huertos de producción (Rayner & Boddy, 1988; Nakasone, 1990).

Por lo anterior, surge la necesidad de investigar la diversidad, identidad y comportamiento patogénico de los hongos corticioides asociados al tejido leñoso de árboles de aguacate (*Persea americana* cv. Hass) en la franja aguacatera del estado de Michoacán, con el propósito de generar información científica que contribuya al entendimiento de las enfermedades de la madera en este cultivo y sienta las bases para futuras estrategias de manejo y prevención.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del cultivo de aguacate en México

En México, el cultivo de aguacate (*Persea americana* cv. Hass) representa una de las actividades agrícolas de mayor relevancia tanto por el volumen de producción como por el impacto socioeconómico que genera a lo largo de toda la cadena productiva (SIAP, 2025). En 2025, la producción nacional de aguacate alcanzó aproximadamente 2.7–3.03 millones de toneladas (t), consolidando al país como el principal productor a nivel mundial, con el estado de Michoacán aportando cerca del 75 % de la producción nacional (SIAP, 2025; SADER Michoacán, 2025). Para 2025, se estimó un incremento sostenido de la producción hasta 3.03 millones de toneladas, impulsado por la creciente demanda del mercado interno y de exportación (USDA-FAS, 2025).

La importancia del cultivo de aguacate trasciende el ámbito estrictamente productivo, ya que constituye un motor clave del desarrollo económico y social en las regiones productoras. Se estima que el valor de la producción de aguacate en México alcanzó cerca de 60 mil millones de pesos en 2025, lo que generó una derrama económica significativa a lo largo de toda la cadena agroindustrial, así como una amplia red de empleos directos e indirectos asociados a las actividades de producción, empaque, transporte y comercialización (Avocado Institute of Mexico, 2025; Red Agrícola, 2025). Asimismo, el consumo nacional de aguacate ha mostrado una tendencia creciente en los últimos años, con un aumento cercano al 10 % en el consumo per cápita durante 2025, reflejando la consolidación de este fruto tanto en la dieta nacional como en los mercados internacionales (INFOSIAP, 2025; USDA-FAS, 2025).

2.2. Factores que limitan la producción de aguacate

La productividad y longevidad del cultivo de aguacate (*Persea americana* cv. Hass) están condicionadas por la interacción de diversos factores bióticos y abióticos que influyen de manera directa en el rendimiento y la salud de los árboles. Entre los factores bióticos, las enfermedades causadas por fitopatógenos representan una de las principales limitantes para la producción del cultivo (Riska *et al.*, 2026). A nivel mundial, el oomiceto *Phytophthora cinnamomi* es reconocido como el principal agente causal de la pudrición radical del aguacate, enfermedad que provoca reducción del crecimiento, clorosis, defoliación y, en

etapas avanzadas, la muerte del árbol, especialmente bajo condiciones de exceso de humedad y suelos con drenaje deficiente (Farooq *et al.*, 2024).

Por otro lado, algunos patógenos fúngicos han sido asociados con síntomas que afectan la productividad del aguacate, tales como marchitez, disminución del vigor, muerte celular de tejidos y reducción del rendimiento, comprometiendo la longevidad de las huertas (Riska *et al.*, 2026). Estudios recientes han documentado la participación de especies pertenecientes a la familia Botryosphaeriaceae como agentes causales de muerte celular de ramas, canchales en troncos y muerte regresiva en el aguacate, lo que evidencia que las enfermedades de la madera constituyen una problemática emergente en sistemas agrícolas de larga duración (Hernández *et al.*, 2023). Asimismo, los fitopatógenos pueden diseminarse entre árboles y huertos vecinos a través de diferentes vías, como lluvia, viento, herramientas contaminadas, material vegetal infectado, insectos vectores y agua de riego, favoreciendo su establecimiento y persistencia en las zonas productoras (Velásquez *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2019). De igual manera, los factores abióticos también desempeñan un papel determinante en la productividad del cultivo de aguacate, tal es el caso de las condiciones edáficas desfavorables, que incluyen desbalances en el pH, baja aireación, compactación del suelo y deficiencias nutrimentales, las cuales limitan el desarrollo del sistema radicular y predisponen a los árboles a infecciones por patógenos del suelo (Riska *et al.*, 2026). Asimismo, factores asociados a la variabilidad climática, como periodos de sequía, exceso de humedad y fluctuaciones extremas de temperatura, afectan la fisiología del cultivo y pueden alterar sus etapas fenológicas, influyendo negativamente en el crecimiento, la productividad y la tolerancia al estrés biótico (Domínguez *et al.*, 2024).

Por otra parte, en un contexto ecológico, los hongos saprótrofos desempeñan un papel clave en la descomposición de la materia orgánica y en el funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos, dada su elevada capacidad metabólica para degradar compuestos orgánicos complejos mediante la secreción y acción de enzimas extracelulares. Además, su capacidad para tolerar ambientes adversos les permite proliferar en condiciones que resultan desfavorables para otros organismos (Marañón-Jiménez *et al.*, 2021; Hou *et al.*, 2020). Esta plasticidad ecológica ha llevado a que diversos taxones tradicionalmente considerados saprótrofos actúen como patógenos oportunistas, capaces de colonizar tejidos leñosos debilitados y contribuir a procesos de degradación de la madera, lo cual resulta

particularmente relevante en cultivos perennes de larga duración como el aguacate (Velásquez *et al.*, 2018; Yuan *et al.*, 2023).

2.3. Hongos corticioides

El término “corticioide” se asocia históricamente a los cambios morfológicos que estos hongos inducen en la madera. La colonización por hongos causantes de pudrición blanca provoca que la madera adquiera una apariencia fibrilar y un cambio de coloración de castaño a blanco, como resultado de la degradación selectiva o simultánea de la lignina, un polímero fenólico esencial de la pared celular vegetal (Hubert, 1931; Daniel, 2016). Estos hongos se encuentran principalmente asociados a la madera, donde pueden desarrollarse tanto como organismos saprobios como parásitos de tejidos leñosos vivos, desempeñando un papel clave en la dinámica de degradación de la biomasa vegetal (Hjortstam *et al.*, 1988; Floudas *et al.*, 2012).

Los hongos corticioides constituyen un grupo morfológico de hongos basidiomicetos que, aunque ampliamente distribuido a nivel mundial, ha sido escasamente estudiado en México, particularmente desde una perspectiva ecológica y fitopatológica. El término “corticioide” no posee un estatus taxonómico formal, sino que se utiliza para agrupar especies con carpóforos resupinados y crecimiento íntimamente asociado a la madera. A nivel global, se han estimado entre 2500 especies de hongos corticioides, con mayor representación en regiones templadas de América del Norte, Europa y zonas tropicales (Hawksworth *et al.*, 1995; Ginns, 1998; Mueller *et al.*, 2007).

El término corticioide-hidnoide se emplea para describir carpóforos resupinados con un himenio dentado, en los cuales el himenóforo puede ser liso, hidnoide o plegado. Estos hongos presentan generalmente un sistema hifal monomítico, aunque en algunos casos puede ser dimítico, y exhiben una amplia diversidad de cistidios y estructuras microscópicas, lo que dificulta su delimitación taxonómica. Las especies corticioides crecen firmemente adheridas a la madera, presentan una distribución cosmopolita y pueden comportarse como saprobios, parásitos o ectomicorrícicos, dependiendo de la especie y del contexto ecológico (Parmasto *et al.*, 2004).

Inicialmente, el grupo morfológico de corticioides fue ubicado dentro de la familia Corticiaceae, con base en similitudes morfológicas del carpóforo (Donk, 1964). Sin embargo, el desarrollo de enfoques filogenéticos y moleculares ha demostrado que los ejemplares agrupados dentro de los hongos corticioides, cuya clasificación responde a criterios ecofisiológicos y morfológicos que a relaciones evolutivas reales, constituyen un grupo polifilético (Larsson, 2007; Binder *et al.*, 2013). En este sentido, el grupo incluyó principalmente especies del filum Basidiomycota, particularmente dentro de la clase Agaricomycetes, así como algunas especies representantes del filum Ascomycota, que comparten hábitos de colonización sobre sustratos leñosos (Rayner & Boddy, 1988; Floudas *et al.*, 2012).

La taxonomía de los hongos corticioides se encuentra en constante revisión, con la descripción continua de nuevos taxones y la reubicación de géneros en distintos órdenes y familias, especialmente tras la incorporación de datos moleculares multilocus. Este dinamismo taxonómico es particularmente evidente en especies asociadas a procesos de pudrición blanca, las cuales han mostrado una elevada diversidad genética y funcional (Contreras-Pacheco *et al.*, 2012; Floudas *et al.*, 2012).

En México, los estudios enfocados en la diversidad y ecología de los hongos corticioides han documentado aproximadamente 270 especies, con registros en bosques templados de una mayor riqueza, donde predominan ejemplares en ecosistemas con elevada disponibilidad de sustrato leñoso. No obstante, su papel funcional y potencial fitopatogénico en sistemas agrícolas perennes permanece poco documentado (Contreras-Pacheco, 2008; Contreras-Pacheco *et al.*, 2012, 2014; Urbizu *et al.*, 2013, 2014; Tapia y Chacón, 2015; Tapia *et al.*, 2016).

2.4. Hongos corticioides asociados a pudrición blanca: mecanismos implicados en la degradación del tejido leñoso

La pudrición blanca constituye uno de los principales procesos de degradación de la madera y es causada predominantemente por hongos pertenecientes al filum Basidiomycota, entre los cuales se incluyen numerosas especies de corticioides. Este tipo de pudrición se caracteriza por la capacidad de los hongos para degradar de manera parcial o completa los principales componentes estructurales de la pared celular vegetal, incluyendo lignina,

celulosa y hemicelulosa, lo que conlleva a una pérdida progresiva de la resistencia mecánica del tejido leñoso (Floudas *et al.*, 2012; Daniel, 2016).

Los hongos corticioides asociados a pudrición blanca poseen un sistema enzimático altamente especializado, basado principalmente en enzimas oxidativas e hidrolíticas, que les permite colonizar y descomponer eficientemente la madera. Entre las enzimas clave involucradas en este proceso se encuentran las ligninasas, tales como lacasas (EC 1.10.3.2), lignina peroxidasas (LiP; EC 1.11.1.14) y manganeso peroxidasas (MnP; EC 1.11.1.13), las cuales participan activamente en la oxidación y ruptura del polímero de lignina. La acción conjunta de estas enzimas facilita el acceso posterior a los polisacáridos estructurales, que son degradados mediante celulasas y hemicelulasas (Rayner & Boddy, 1988; Daniel, 2016).

A diferencia de otros tipos de degradación de la madera, como la pudrición parda, causada principalmente por hongos que degradan preferentemente los carbohidratos estructurales, numerosos hongos basidiomicetos de hábito corticioide son agentes causales de la pudrición blanca, un proceso en el cual se degradan de manera simultánea tanto la lignina como los carbohidratos de la pared celular, o bien de forma selectiva, con remoción preferencial de la lignina (Schwarze *et al.*, 2000; Daniel, 2016). En ambos casos, la madera afectada presenta una textura fibrilar, blanquecina y esponjosa, conservando parcialmente su estructura anatómica aun en estados avanzados de degradación (Schwarze, 2007; Daniel, 2016). Estas modificaciones estructurales se asocian con una pérdida significativa de la funcionalidad mecánica y fisiológica del tejido leñoso, lo que compromete la estabilidad estructural y la conductividad vascular de los árboles afectados (Rayner & Boddy, 1988; Schwarze *et al.*, 2000). Desde un punto de vista ecofisiológico, los hongos corticioides han desarrollado estrategias que les permiten colonizar tanto madera muerta como tejidos leñosos vivos debilitados, actuando como saprobios o como parásitos oportunistas, en función del estado fisiológico del hospedero y de las condiciones ambientales (Rayner & Boddy, 1988; Slippers & Wingfield, 2007). Los hongos corticioides tienen la capacidad de establecerse en tejidos con bajo contenido de nutrientes debido a su alta complejidad estructural que se asocia a su eficiencia metabólica y a la producción de enzimas extracelulares con amplio rango de actividad. En los cultivos perennes, la plasticidad ecológica de los hongos corticioides adquiere especial relevancia, ya que los hospedantes sometidos a estrés abiótico y/o biótico

pueden volverse susceptibles a la colonización por estos organismos (Hjortstam *et al.*, 1988; Floudas *et al.*, 2012).

Estudios filogenómicos han demostrado que la evolución de la pudrición blanca está estrechamente ligada a la expansión de familias génicas asociadas con la degradación de lignina, particularmente dentro de la clase Agaricomycetes. En este contexto, diversos linajes filogenéticamente distantes —muchos de los cuales presentan morfologías corticioides— han sido identificados como actores clave en la evolución y mantenimiento de este tipo de pudrición, lo que resalta la relevancia funcional de este hábito de crecimiento en la degradación de la madera (Floudas *et al.*, 2012). No obstante, a pesar del amplio conocimiento generado en ecosistemas forestales, la participación de estos hongos de morfología corticioide en sistemas agrícolas, como el cultivo de aguacate, permanece insuficientemente documentada (Larsson, 2007).

La degradación del tejido leñoso por hongos de morfología corticioide tiene implicaciones fitopatológicas relevantes, al afectar la integridad estructural del árbol, el transporte vascular y la susceptibilidad a infecciones secundarias. En este contexto, el estudio de los mecanismos de degradación de la madera resulta esencial para comprender su posible papel en enfermedades de la madera y en procesos de pudrición blanca en cultivos perennes de interés económico (Rayner & Boddy, 1988; Schwarze *et al.*, 2000; Daniel, 2016).

2.5. Antecedentes de pudrición blanca en aguacate

En el cultivo de aguacate (*Persea americana* cv. Hass), la evidencia reciente confirma que basidiomicetos lignícolas pueden estar directamente asociados con procesos de degradación del tejido leñoso y fenómenos de declinación del árbol. En México, por ejemplo, se documentó a *Trametes hirsuta* como agente causal de pudrición blanca en árboles de aguacate en el estado de Michoacán, cuya capacidad patogénica fue confirmada mediante ensayos de inoculación controlados en tejido leñoso, con reproducción de los síntomas característicos y reaislamiento del hongo a partir de los tejidos afectados, cumpliendo con los criterios clásicos de patogenicidad (Mendoza-Churape *et al.*, 2025).

En Michoacán, México, *Trametes hirsuta* fue identificado como agente causal de pudrición blanca en aguacate, luego de que ensayos de patogenicidad bajo condiciones controladas demostraran su capacidad para inducir síntomas típicos de la enfermedad en tejidos leñosos, confirmando su rol como patógeno de la madera (Mendoza-Churape *et al.*, 2025).

Además, existen reportes fitopatológicos que amplían el espectro de basidiomicetos asociados a pudriciones en aguacate. Entre ellos destaca el primer reporte de *Irpex rosettiformis* como agente causal de pudrición blanca de raíces en árboles de aguacate en Michoacán, México, lo que confirma la participación de basidiomicetos lignícolas en distintos órganos del hospedante y subraya la complejidad etiológica de las enfermedades de la madera en este cultivo (Cisneros-Zambrano *et al.*, 2024).

Estos antecedentes son consistentes con el conocimiento mecanístico sobre los basidiomicetos degradadores de madera, en los cuales la capacidad de degradar lignina se asocia con la presencia y expansión de familias génicas que codifican repertorios enzimáticos oxidativos, un rasgo ampliamente documentado en la clase Agaricomycetes (Floudas *et al.*, 2012). En consecuencia, la participación de basidiomicetos resupinados, incluidos aquellos de morfología corticioide, como colonizadores y potenciales agentes oportunistas en madera viva debilitada resulta biológicamente plausible (Rayner & Boddy, 1988; Schwarze, 2007).

En este contexto, la pudrición blanca en aguacate probablemente involucra una diversidad mayor de hongos lignícolas de la que se detecta únicamente a partir de carpóforos conspicuos. Por ello, la identificación molecular complementada con pruebas de patogenicidad es esencial para discriminar entre colonización secundaria y agentes causales primarios de la enfermedad (Floudas *et al.*, 2012; Mendoza-Churape *et al.*, 2025).

2.6. Clasificación y contexto taxonómico de la clase Agaricomycetes

Los hongos corticioides se distribuyen en múltiples linajes dentro de la clase Agaricomycetes (filum Basidiomycota), grupo que concentra una proporción importante de la diversidad de macromicetos a escala global. Sin embargo, el término “corticioide” no corresponde a una entidad taxonómica natural, sino a un conjunto morfológico definido históricamente por la presencia de carpóforos resupinados (costrosos) y por su frecuente asociación con sustratos leñosos (Hjortstam *et al.*, 1988; Larsson, 2007).

La sistemática molecular ha confirmado que este conjunto es polifilético, es decir, que la morfología corticioide ha surgido en diferentes linajes como resultado de convergencia evolutiva relacionada con estrategias de colonización de madera (Hibbett *et al.*, 2007; Larsson, 2007).

A escala mundial, las estimaciones del número de especies corticioides descritas dentro de la clase Agaricomycetes han sido aproximadas, con reportes cercanos a 1 845 –1 853 especies, lo cual refleja tanto el conocimiento parcial del grupo como la complejidad de su delimitación taxonómica (Hawksworth *et al.*, 1995; Mueller *et al.*, 2007). En México, los registros de hongos corticioides se remontan a contribuciones tempranas con material procedente principalmente de Veracruz (Fries, 1851). Durante el siglo XX y lo que va del XXI, el conocimiento del grupo se incrementó con aportaciones de autores clásicos y con estudios enfocados en inventarios y revisiones taxonómicas, lo que ha permitido consolidar una base para comprender su diversidad en el país (Tapia *et al.*, 2016). En conjunto, estos antecedentes justifican que en estudios aplicados (p. ej., enfermedades del leño), el reconocimiento de “corticioides” debe abordarse desde una taxonomía integrativa (morfología + evidencia molecular) para evitar interpretaciones basadas exclusivamente en similitudes fenotípicas (Larsson, 2007; McLaughlin & Spatafora, 2014, 2015).

2.7. Orden Polyporales y su relevancia para hongos corticioides lignícolas

El orden Polyporales (clase Agaricomycetes) agrupa una radiación evolutiva extensa de hongos lignícolas, que incluye formas poliporoides, numerosos taxones corticioides y algunos linajes con morfología agaricoide. En términos ecológicos, predominan las especies saprótrofas; no obstante, varias pueden comportarse como patógenos oportunistas, colonizando tejidos leñosos vivos cuando el hospedero se encuentra debilitado o estresado. Esta dualidad funcional es particularmente relevante para cultivos perennes, donde el estrés crónico y las heridas facilitan la colonización del leño (Schwarze, 2007; Justo *et al.*, 2017).

Históricamente, la delimitación de Polyporales fue confusa debido a que los hongos lignícolas “no lamelados” se agruparon durante gran parte del siglo XX en el orden artificial Aphyllophorales, basado en caracteres de los carpóforos. La incorporación de herramientas filogenéticas permitió superar ese esquema artificial y reconocer a Polyporales como un clado monofilético bien soportado dentro de la clase Agaricomycetes (Hibbett *et*

al., 2007; Justo *et al.*, 2017). En la circunscripción moderna del orden se reconocen familias relevantes para el estudio de hongos corticioides (por ejemplo, Meruliaceae, Phanerochaetaceae, entre otras), lo cual explica que la morfología resupinada ocurra de manera recurrente en el orden y que el conjunto “corticioide” incluya especies con alta capacidad degradadora de madera (Justo *et al.*, 2017). En consecuencia, Polyporales representa un marco filogenético clave para interpretar la diversidad de corticioides lignícolas y su potencial asociación con degradación leñosa en árboles vivos (Schwarze, 2007; Floudas *et al.*, 2012).

2.8. Características morfológicas diagnósticas de los hongos corticioides

Los hongos corticioides constituyen un grupo morfológico de macrohongos, principalmente de Basidiomycota (clase Agaricomycetes), caracterizado por la formación de carpóforos resupinados, extendidos y firmemente adheridos al sustrato, con una superficie fértil expuesta y sin diferenciación marcada de píleo. Esta morfología confiere a los carpóforos un aspecto costroso, membranoso o ceroso, rasgo utilizado históricamente para su reconocimiento en campo. El himenóforo puede ser liso o mostrar variaciones (tuberculado, odontoide, merulioide o poroide), lo cual incrementa la dificultad diagnóstica cuando la identificación se apoya únicamente en rasgos macroscópicos (Hjortstam *et al.*, 1988; Bernicchia & Gorjón, 2010).

A nivel microscópico, la identificación de corticioides requiere integrar caracteres del sistema hifal (monomítico, dimítico o trimítico), presencia/ausencia de fíbulas, pigmentación y grosor de pared, así como estructuras especializadas (p. ej., tipos de cistidios) y rasgos de basidiosporas (forma, tamaño, ornamentación y reacciones a colorantes) (Hjortstam *et al.*, 1988; Bernicchia & Gorjón, 2010). No obstante, se reconoce que muchos caracteres morfológicos presentan alta homoplasia, ya que formas similares han evolucionado en linajes distantes como respuesta a presiones ecológicas similares (colonización de sustratos leñosos) (Hibbett *et al.*, 2007; Larsson, 2007). Por ello, en contextos aplicados (fitopatología del leño), la observación de carpóforos resupinados debe considerarse un indicador preliminar de colonización, que requiere confirmación mediante estudio microscópico e identificación molecular para establecer con precisión la identidad del agente y su posible papel patogénico (Larsson, 2007; Bernicchia & Gorjón, 2010).

2.9. Ciclo de vida y estrategias de colonización del leño

El ciclo de vida de los hongos corticioides es esencialmente el de hongos pertenecientes al filum Basidiomycota: inicia con la germinación de basidiosporas haploides, seguida por el establecimiento de micelio que, tras compatibilidad sexual, forma un micelio dicariótico capaz de colonizar sustratos leñosos por periodos prolongados. La fase dicariótica es la dominante y puede persistir de manera críptica en madera muerta o en tejidos leñosos debilitados, antes de la formación de carpóforos resupinados bajo condiciones ambientales favorables (Alexopoulos *et al.*, 1996; Larsson *et al.*, 2004). En el himenio ocurre cariogamia y meiosis, generándose nuevas basidiosporas que se dispersan principalmente por aire, aunque también pueden ser transportadas por agua o vectores bióticos, contribuyendo a la colonización de nuevos sustratos (Punja, 1985; Larsson *et al.*, 2004).

Desde un enfoque ecofisiológico, estos hongos exhiben estrategias que les permiten funcionar como saprótrofos eficientes en madera muerta y en determinados escenarios, como colonizadores oportunistas de tejidos leñosos vivos cuando el hospedero presenta estrés, heridas o declinación fisiológica (Rayner & Boddy, 1988; Virág *et al.*, 2022). Esta flexibilidad ayuda a explicar por qué, en sistemas agrícolas perennes, la presencia de carpóforos corticioides sobre árboles vivos puede asociarse con degradación interna previa y con procesos crónicos de deterioro del leño, aun cuando los síntomas externos sean tardíos o inespecíficos (Rayner & Boddy, 1988; Schwarze, 2007).

2.10. Pudrición blanca asociada a hongos corticioides: bases y relevancia fitopatológica

Numerosas especies de morfología corticioide son capaces de provocar pudrición blanca, un proceso de degradación de la madera caracterizado por la descomposición de lignina y carbohidratos estructurales (celulosa y hemicelulosas) mediante sistemas enzimáticos oxidativos. Este patrón contrasta con otros tipos de degradación, en los cuales la lignina no se elimina con la misma eficiencia (Schwarze & Ferner, 2013; Daniel, 2016). La pudrición blanca puede manifestarse como degradación simultánea de componentes lignocelulósicos o como deslignificación preferencial, con consecuencias diferentes sobre la integridad mecánica del tejido leñoso (Schwarze, 2007; Schwarze & Ferner, 2013).

Desde una perspectiva fitopatológica, la degradación del leño implica pérdida progresiva de resistencia mecánica, alteración del soporte estructural y afectación indirecta del funcionamiento del árbol, incluyendo el desempeño hidráulico y la predisposición a colonización secundaria por otros microorganismos (Sinclair & Lyon, 2005; Schwarze & Ferner, 2013). En árboles vivos, estos procesos pueden evolucionar de forma crónica y culminar en fallas estructurales, muerte regresiva o colapso del hospedero, especialmente bajo condiciones ambientales adversas (Sinclair & Lyon, 2005; Schwarze, 2007). En consecuencia, comprender los mecanismos y patrones de pudrición blanca resulta central para interpretar el papel potencial de corticioides en enfermedades del leño de cultivos perennes (Schwarze, 2007).

2.11. Síntomas y signos asociados a pudrición blanca en árboles

La pudrición blanca se asocia con degradación progresiva del duramen y, en algunos casos, de la albura, así como con afectación del sistema radicular, lo cual compromete la estabilidad mecánica y el desempeño fisiológico del hospedero (Schwarze & Ferner, 2013). En la parte aérea pueden observarse síntomas relativamente inespecíficos, como reducción del vigor, defoliación, muerte descendente de ramas y disminución del crecimiento, los cuales incrementan la vulnerabilidad del árbol a estrés hídrico y eventos de viento (Pataky, 1999; Schwarze & Ferner, 2013).

El signo más evidente es la presencia de carpóforos sobre ramas, troncos o raíces expuestas. En el caso de corticioides, estos suelen ser resupinados y pueden extenderse varios centímetros sobre el sustrato. Su presencia se considera un indicador de colonización establecida y con frecuencia, de degradación interna avanzada, aun cuando los síntomas externos sean poco notorios (Ryvarden, 1991; Schwarze & Ferner, 2013; Swiecki & Bernhardt, 2006). En contextos forestales y urbanos se ha interpretado la aparición de carpóforos sobre árboles vivos como señal de riesgo estructural, lo cual ha derivado en recomendaciones de manejo preventivo (Toole, 1966; Glen *et al.*, 2009; Coetzee *et al.*, 2015). En sistemas agrícolas perennes, estos signos pueden pasar inadvertidos o subestimarse, retrasando la detección de procesos de degradación del leño (Glen *et al.*, 2009).

2.12. Hospederos y relevancia agrícola/forestal de hongos corticioides

Aunque durante décadas los hongos corticioides fueron considerados principalmente saprótrofos, estudios en regiones tropicales y subtropicales han confirmado que algunos taxones pueden actuar como patógenos activos o oportunistas en árboles leñosos, generando enfermedades con repercusión económica. Un ejemplo clásico es *Erythricium salmonicolor*, agente causal del “mal rosado”, caracterizado por micelio de tonalidad salmón-rosada y carpóforos incrustantes resupinados, asociado con canchros, fisuras corticales, exudación y muerte regresiva (Akrofi *et al.*, 2014). Este patógeno se ha reportado en diversos cultivos perennes de interés económico, incluyendo cacao, cítricos, mango, aguacate y café, lo que evidencia el potencial fitopatológico de corticioides en agroecosistemas (Ramírez & Cadena, 1982; Sebastianes, 2007).

En México, varios registros de corticioides derivan de listados florísticos generales; sin embargo, existen contribuciones con énfasis específico en corticioides, que han fortalecido la base de conocimiento para su estudio aplicado (Contreras-Pacheco *et al.*, 2012; Tapia *et al.*, 2016). En el marco de cultivos perennes, la relevancia de estos hongos se incrementa por su capacidad para colonizar madera muerta y bajo condiciones de estrés del hospedero, actuar como colonizadores oportunistas de tejidos leñosos vivos debilitados, contribuyendo a procesos de degradación interna y a complejos de enfermedades del tejido leñoso (Rayner & Boddy, 1988; Virágh *et al.*, 2022).

2.13. Herramientas moleculares para la identificación y delimitación de hongos corticioides

Debido al carácter polifilético del conjunto “corticioide” y a la elevada homoplasia de caracteres morfológicos, la sistemática molecular ha sido fundamental para redefinir su clasificación, esclarecer relaciones evolutivas y sustentar delimitaciones taxonómicas robustas (Larsson *et al.*, 2004; Binder *et al.*, 2005; Larsson, 2007). En la actualidad, la identificación de hongos de importancia fitopatológica se apoya de forma rutinaria en PCR y secuenciación, integrando evidencia morfológica y genética en un enfoque de taxonomía integrativa (Crous *et al.*, 2016).

La región ITS del ADN ribosomal se ha consolidado como código de barras molecular para hongos por su combinación de regiones conservadas y variables (White *et al.*, 1990; Schoch *et al.*, 2012). Sin embargo, en grupos complejos incluidos varios linajes con morfología corticioide el uso exclusivo de ITS puede resultar insuficiente para resolver relaciones entre especies cercanas; por ello, se recomienda incorporar loci adicionales como *tefl- α* , *rpb2* u otros genes codificadores de proteínas para mejorar resolución filogenética y soporte en delimitación de especies (Liu *et al.*, 1999; Matheny *et al.*, 2007; Alves *et al.*, 2008; Cruywagen *et al.*, 2017). Un reto adicional es la presencia de errores de identificación en bases de datos públicas, donde se han documentado proporciones relevantes de secuencias mal asignadas; por ello, la interpretación debe basarse en curación, comparación con material tipo y congruencia morfológica. En conjunto, estas herramientas proporcionan la base metodológica para estudios que buscan vincular taxones corticioides con degradación de madera y posibles cuadros fitopatológicos en cultivos perennes (Bridge *et al.*, 2003; Nilsson *et al.*, 2006; Jung *et al.*, 2014).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Recolección de muestras en campo

Los muestreos de carpóforos y tejido leñoso de árboles infectados se llevaron a cabo en municipios pertenecientes a la franja aguacatera del estado de Michoacán, localizada en la provincia fisiográfica del Sistema Volcánico Transversal, entre las latitudes 18.7500° y 20.1000° N y las longitudes 101.7833° y 103.2167° O. En esta región aguacatera sobre salen por su producción 22 municipios, en los cuales existen 94,045.28 ha cultivadas con aguacate. El rango de alturas donde se ubican las plantaciones con este frutal oscila entre 1100 a 2900 m.s.n.m., aunque la mayor superficie se ubica entre 1600 a 2100 m.s.n.m. Gran parte del cultivo se encuentra establecido en suelos de tipo andosol (89.81 %), se presentan 14 climas; en diez de ellos se encuentra establecido el cultivo. Las temperaturas medias anuales donde se ubican las plantaciones de aguacate oscilan de 16 °C hasta 24 °C y la precipitación pluvial en esta zona fluctúa de 600 mm a 1500 mm anuales. La humedad relativa predominante donde se encuentra establecido este cultivo es del 90 % (Melke-Woldegebriel, 2025).

3.2. Ubicación del área experimental

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Fitopatología I de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en Uruapan, Michoacán.

3.3. Síntomas observados en campo

En varios municipios de la zona productora del estado de Michoacán, conocida como “Franja Aguacatera”, se observaron árboles con síntomas de la enfermedad; principalmente muerte de ramas con presencia de pudrición suave, a la altura de las ramas y en algunos casos desde la base del tronco hasta las partes aéreas. En las zonas de las lesiones sobre el tejido leñoso se detectó presencia de pudrición blanca acompañado de micelio blanco y algodonoso, con hinchazón del tejido vegetal, la corteza de la madera en ocasiones presentaba degradaciones y cambio de la coloración original, posteriormente las ramas presentaban amarillamiento foliar, hojas pequeñas, defoliación generalizada, muerte descendente, frutos abundantes, pero pequeños y quemados por el sol debido a la falta de follaje, también se observaron carpóforos

de crecimiento cortical, sésiles postrados a la madera (Hernández *et al.*, 2023; Mendoza-Churape *et al.*, 2025) Figura 1.



Figura 1. Carpóforos de corticioides de pudrición blanca ubicados en árboles de aguacate (*Persea americana* cv. Hass); A y B) carpóforos colonizando gran parte del árbol de aguacate, ocasionando defoliación y muerte descendente, C, D y E) carpóforos adheridos alrededor del tallo y ramas de árboles de aguacate.

El muestreo en huertos comerciales de aguacate se realizó mediante un muestreo aleatorio simple, aplicado únicamente al grupo de árboles que presentaban síntomas visibles de enfermedad del tejido leñoso. Una vez delimitado el grupo de árboles se seleccionaron al azar los individuos a evaluar. Bajo este esquema todas las unidades de muestreo dentro del grupo definido tuvieron la misma probabilidad de ser seleccionadas, priorizando la homogeneidad de las condiciones fitosanitarias de los árboles muestreados (Martínez & Fierro, 2020).

Los muestreos se llevaron a cabo en seis municipios representativos de la franja aguacatera del estado de Michoacán (Ziracuaretiro, Salvador Escalante, Puruarán, Parácuaro, Tancítaro y Uruapan), seleccionados con base en su superficie cultivada, importancia productiva y diversidad de condiciones climáticas. En donde para el caso de Ziracuaretiro, Salvador Escalante, Puruarán y Parácuaro, se visitaron dos huertos distintos por cada municipio, para

el caso de Uruapan se visitaron tres huertos distintos y en el caso de Tancítaro se visitaron cuatro huertos comerciales distintos, esto dependió de la disponibilidad y accesibilidad, así como de la incidencia de la enfermedad observada en campo. Cuadro 1.

Municipio	Altitud (msnm)	Precipitación (mL/m²)	Coordenadas
Ziracuaretiro	1345	1100	N 19°21'00" W 101°90'14"
Salvador Escalante	2220	780	N 19°24'30" W 101°38'23"
	2220	780	N 19°24'30" W 101°38'23"
	2220	780	N 19°24'30" W 101°38'23"
Puruarán	1097	850	N 19°05'33" W 101°31'17"
Parácuaro	602	800	N 19°08'47" W 102°13'07"
	608	800	N 19°09'16" W 102°13'05"
Tancítaro	1403	800	N 19° 21'00'' W 102° 21'46''
	1884	1200	N 19° 25' 33.87'' W 102° 26' 50.30''
Uruapan	1770	1500	N 19°22'18.30'' W 101° 59'57.70''

Cuadro 1. Características de los sitios donde se recolectaron hongos corticioides de pudrición blanca en huertos de aguacate (*Persea americana* cv. Hass) ubicados en distintos municipios de Michoacán, México.

Para el caso de Ziracuaretiro y Parácuaro se muestrearon un total de 10 árboles en cada municipio, para Salvador Escalante, Puruarán, y Uruapan se muestraron un total de 13 árboles para cada uno de ellos. Para el caso del municipio de Tancítaro se muestraron 16 árboles con síntomas compatibles con pudrición blanca en la zona aérea de los árboles (tronco y ramas principalmente), lo que resultó en un total de 72 árboles muestreados durante el estudio. De cada árbol se recolectaron una a dos muestras de tejido leñoso afectado y

cuando estuvieron presentes, carpóforos asociados, obteniéndose un total de 95 muestras biológicas. El número de muestras por huerto y municipio se ajustó en función de la superficie del huerto, la severidad de los síntomas y la disponibilidad de árboles afectados, con el objetivo de maximizar la diversidad de aislamientos fúngicos. El esquema de muestreo es congruente con metodologías empleadas en estudios de enfermedades del tejido leñoso y hongos lignícolas, donde la detección del patógeno se optimiza mediante la selección de hospederos con signos visibles de colonización fúngica (Sinclair & Lyon, 2005; Crous *et al.*, 2016).

3.4. Identificación molecular

La extracción de ADN genómico se realizó a partir de micelio fúngico cultivado durante 10 días, utilizando el protocolo MLO descrito por Osuji *et al.* (2015) en combinación con el método CTAB al 3 %. La calidad del ADN extraído se evaluó mediante electroforesis en gel de agarosa con tinción de bromuro de etidio, mientras que su concentración y pureza se determinaron por espectrofotometría utilizando un NanoDrop™ (Thermo Scientific), a partir de las relaciones de absorbancia A260/A280.

La amplificación por PCR se realizó empleando los cebadores ITS5 e ITS4, dirigidos a la región transcrita interna del ADN ribosomal (ITS), en mezclas de reacción estándar. Las reacciones se llevaron a cabo en un termociclador C1000™ Thermal Cycler (Bio-Rad®) bajo las siguientes condiciones: una desnaturalización inicial a 95 °C durante 4 min, seguida de 35 ciclos de desnaturalización a 95 °C por 1 min, alineamiento a 55 °C por 1 min y extensión a 72 °C por 2 min, con una extensión final a 72 °C durante 10 min.

Los productos de PCR se visualizaron mediante electroforesis en gel de agarosa y se limpiaron utilizando un kit comercial (PureLink™ Quick PCR Purification Kit, Invitrogen™). Los amplicones se enviaron al laboratorio Macrogen Inc. (Seúl, Corea) para su secuenciación.

Las secuencias obtenidas se compararon con secuencias homólogas disponibles en la base de datos GenBank del NCBI mediante el algoritmo BLAST. Posteriormente, se realizaron los análisis filogenéticos con secuencias de la región ITS, que incluyeron especies previamente reportadas

3.5. Análisis filogenético

Se identificaron filogenéticamente tres cepas de corticoides, una pertenecientes al género *Dentocorticium* (C 8) y dos a *Grammothele* (CG1 y CSA).

La recopilación de las secuencias utilizadas para los análisis filogenéticos de los géneros *Dentocorticium* y *Grammothele* se realizó a partir de bases de datos públicas. La verificación de la nomenclatura y el uso de nombres válidos y aceptados se llevó a cabo mediante la consulta de MycoBank, complementada con literatura taxonómica especializada, con el objetivo de asegurar la correcta delimitación genérica y específica de los taxa incluidos en el estudio (Robert *et al.*, 2013).

Para ambos análisis se empleó el marcador molecular ITS (Internal Transcribed Spacer), ampliamente utilizado para estudios filogenéticos y taxonómicos en hongos (White *et al.*, 1990; Schoch *et al.*, 2012). Las secuencias fueron alineadas utilizando el algoritmo automático del programa MAFFT v7 (Kato & Standley, 2013), y posteriormente editadas manualmente para corregir regiones ambiguas y asegurar la homología posicional de los caracteres. La selección del modelo evolutivo más adecuado para cada conjunto de datos se realizó mediante jModelTest v2.1.10, con base en criterios estadísticos estándar (Darriba *et al.*, 2012).

El análisis filogenético de los géneros *Dentocorticium* y *Grammothele* se realizó mediante inferencia bayesiana utilizando MrBayes v3.2 (Ronquist *et al.*, 2012). Para el caso de *Dentocorticium* se ejecutaron cuatro cadenas de Markov-Monte Carlo (MCMC) durante 7,000,000 de generaciones, con muestreo cada 1,000 generaciones, bajo el modelo evolutivo GTR+G. La convergencia se consideró adecuada cuando la desviación estándar de las frecuencias de partición fue menor a 0.01, descartándose el 25 % de los árboles iniciales como burn-in. Como grupos externos se incluyeron a *Dendrocorticopsis lutea*, *Dendrocorticium polygonioides* y *Dendrocorticium roseocarneum*. Para *Grammothele* se ejecutó durante 5,000,000 de generaciones, manteniendo el muestreo cada 1,000 generaciones, un burn-in del 25 %, y empleando el modelo evolutivo GTR+I+G, de acuerdo con los resultados obtenidos en jModelTest. En este caso, se utilizó *Porogramme albocincta* como grupo externo para el enraizamiento del árbol.

De forma complementaria, los valores de soporte para máxima verosimilitud de ambos análisis se obtuvieron mediante ejecuciones independientes utilizando RAxMLGUI y fueron

incorporados en los árboles finales junto con las probabilidades posteriores obtenidas en la inferencia bayesiana (Silvestro & Michalak, 2012).

Los árboles filogenéticos resultantes fueron visualizados y editados con FigTree v1.4.5, para su presentación gráfica final (Rambaut, 2023).

3.6. Conservación de cepas y preparación de inóculo

Para la conservación, se seleccionó como sustrato semillas o granos de sorgo, al igual que se aseguró la sanidad de estos.

La preparación del inóculo se hizo de la siguiente manera; Primeramente, se limpiaron las semillas mediante enjuagues en una cubeta, para eliminar el polvo y basuras como restos del cultivo. Enseguida se sumergió el grano en agua durante 24 horas para obtener una buena hidratación. Se escurrió la semilla durante 60 minutos. Después se colocaron los granos en frascos de vidrio de 600 mL, los cuales se llenaron en un 75 % de su capacidad para poder mover la semilla y se tenga una buena aireación y una rápida invasión del micelio, posteriormente se taparon los frascos con torundas y sombreros de papel periódico, con la finalidad de evitar contaminantes. Cuando estuvieron listos los frascos con el grano se esterilizaron en una autoclave a 15 libras de presión durante una hora.

A continuación, se procedió a la inoculación de los distintos hongos, en las semillas de sorgo previamente esterilizadas. Este proceso se realizó en un área aséptica en el laboratorio en campana de flujo laminar. La inoculación del micelio en la semilla se hizo de la siguiente manera: con la ayuda de un sacabocado se cortaron discos de medio de cultivo que contenía el micelio, en discos de micelio. Estos discos de micelio se depositaron sobre la superficie de cada uno de los frascos con el grano hidratado y estéril (4 discos de 1 cm 2 por frasco) auxiliándose con una aguja de disección, se tapó con la torunda y un sombrero de periódico para evitar contaminaciones del exterior, se movió el sustrato para que el micelio quedara disperso y tuviera un rápido cubrimiento. Se incubaron los frascos a una temperatura de 28 °C en una estufa, durante el tiempo necesario para que el micelio invadiera por completo la semilla. Durante este tiempo se hicieron inspecciones continuas para detectar cualquier irregularidad (contaminantes, anaerobiosis, etc.) (Ahn *et al.*, 2023).

3.7. Pruebas de patogenicidad

Las pruebas de patogenicidad de los aislados CGI, CSA y C8 se realizaron en el Laboratorio de Fitopatología I de la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, mediante la inoculación de las cepas de hongos corticioides obtenidas sobre fragmentos de madera sana de aguacate. El ensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar, considerando como tratamiento cada aislamiento fúngico.

Para cada aislamiento se utilizaron cinco réplicas biológicas ($n = 5$), donde cada réplica correspondió a un fragmento de la rama (unidad experimental) inoculado de forma independiente. Adicionalmente, se incluyó un testigo negativo consistente en ramas seccionadas con un marcador de indeleble, sometidos al mismo procedimiento, pero inoculados únicamente con el medio PDA estéril (o sin inóculo), con cinco réplicas ($n = 5$). El ensayo se repitió en dos ocasiones independientes para confirmar la reproducibilidad de los resultados.

La evaluación de los síntomas se realizó cada 24 horas, registrando la aparición y progresión de lesiones para corroborar la relación síntoma–patógeno y sustentar el cumplimiento de los criterios de diagnóstico fitopatológico establecidos para estudios de patogenicidad (Agrios, 2005).

3.8. Procedimiento de inoculación

Las pruebas de patogenicidad se realizaron sobre plantas sanas de aguacate (*Persea americana* cv. Hass), libres de síntomas visibles de enfermedad, de tamaño y edad uniformes. Previo a la inoculación, las plantas se mantuvieron bajo condiciones controladas para favorecer su establecimiento y reducir variabilidad fisiológica.

Para la inoculación, se seleccionaron aislamientos fúngicos con crecimiento activo, cultivados en medio PDA durante 7–10 días. Como inóculo se utilizaron discos de micelio de aproximadamente 5 mm de diámetro, tomados del margen activo de la colonia. En cada planta se realizó una herida superficial estandarizada en el tallo principal, a una altura aproximada de 15–20 cm sobre el nivel del sustrato, utilizando un instrumento estéril.

El disco de micelio se colocó directamente sobre el tejido expuesto, asegurando el contacto íntimo entre el inóculo y el tejido vascular. Posteriormente, el sitio de inoculación se cubrió

con algodón estéril humedecido y se selló con parafilm® para evitar la desecación y contaminación externa. Las plantas testigo se trataron de manera idéntica, colocando únicamente discos de medio PDA estéril, sin micelio.

Las plantas inoculadas se mantuvieron en invernadero bajo condiciones controladas de temperatura (22–26 °C) y humedad relativa elevada ($\geq 80\%$), con riego regular y manejo fitosanitario adecuado. Las evaluaciones se realizaron cada 24 horas, registrando la aparición de síntomas, el avance de las lesiones y la expresión de signos fúngicos a intervalos regulares durante el periodo experimental.

Al finalizar el ensayo, se procedió a la reislación del hongo a partir del tejido afectado, con el fin de corroborar la identidad del patógeno inoculado y confirmar el cumplimiento de los postulados de Koch (1890).

3.9. Interacción del fitopatógeno sobre tejido leñoso

El tejido leñoso recolectado en campo a partir de árboles de aguacate con síntomas de enfermedad, así como los fragmentos de tallo inoculados en invernadero durante las pruebas de patogenicidad, se procesaron para evaluar la interacción del fitopatógeno con el tejido vegetal. Las muestras se seccionaron transversal y longitudinalmente con el fin de observar alteraciones en la morfología y anatomía del tejido leñoso (Agrios, 2005; Cutler *et al.*, 2008). Los cortes se realizaron siguiendo el protocolo histológico descrito por Schwarze (2007). Las secciones obtenidas se observaron mediante microscopía óptica, registrando modificaciones estructurales asociadas a la colonización fúngica, tales como desorganización de los tejidos, pérdida de continuidad del xilema, alteraciones en la pared celular y presencia de micelio en el interior del tejido. Con base en las observaciones microscópicas de los cortes, se determinó el tipo de degradación de la madera (p. ej., pudrición blanca) y el nivel de daño estructural, permitiendo establecer la relación entre la actividad del fitopatógeno y las modificaciones anatómicas observadas en el tejido leñoso del hospedero (schwarze *et al.*, 2000; Cutler *et al.*, 2008).

Las metodologías empleadas en el presente estudio integraron un enfoque multidisciplinario que comprendió muestreos dirigidos en campo, aislamiento y caracterización morfológica, identificación molecular, análisis filogenético y pruebas de

patogenicidad en plantas sanas de aguacate, complementadas con la evaluación de la severidad y virulencia de los aislamientos mediante escalas diagramáticas y análisis estadísticos. Este conjunto de técnicas permitió abordar de manera integral la identificación y caracterización de hongos corticioides asociados a pudrición blanca en *Persea americana* cv. Hass, asegurando la reproducibilidad de los resultados y la solidez metodológica necesaria para la interpretación confiable de los datos obtenidos (White *et al.*, 1990; Agrios, 2005; Ronquist *et al.*, 2012; Katoh & Standley, 2013).

3.10. Análisis de la información y variables de respuesta

Las variables de respuesta se definieron con base en la incidencia, severidad y virulencia de cada aislamiento fúngico. Se registraron: tiempo de aparición de la lesión (incidencia), tamaño de la lesión (longitud o área, según correspondiera) y características macroscópicas de la lesión. La severidad se cuantificó mediante una escala diagramática ordinal de daños (0–4), basada en la expresión de síntomas externos y signos asociados a la colonización fúngica con base a la escala de Lara (2008) modificada.

Escala diagramática de daños (0–4)

Grado 0. Planta sana, vigorosa, sin síntomas visibles.

- Tejido sin lesiones, ni decoloración.
- Ausencia de micelio, carpóforos o signos internos de pudrición.
- Sistema vascular aparentemente intacto.

Grado 1. Lesiones superficiales localizadas en el punto de inoculación.

- Presencia incipiente de micelio blanquecino, postrado y bien adherido al tejido.
- Clorosis leve localizada o reducción ligera del crecimiento.
- Daño interno mínimo, limitado a la periferia del tejido (corteza externa).

Grado 2. Lesión visible y continua alrededor del sitio de inoculación.

- Micelio evidente cubriendo parcialmente el tejido, aún postrado.
- Clorosis generalizada moderada y/o reducción del crecimiento.

- Inicio de deterioro interno del xilema (pérdida parcial de resistencia).

Grado 3. Colonización extensa del tejido por micelio y/o desarrollo de carpóforos.

- Pudrición blanca avanzada con pérdida significativa de lignina, celulosa y hemicelulosa.
- Marchitez parcial o generalizada y defoliación evidente.
- Transporte de agua severamente comprometido y colapso estructural incipiente.

Grado 4. Muerte total de la planta o destrucción funcional del tejido evaluado.

- Muerte celular generalizada y ausencia de turgencia.
- Tejido blanquecino, frágil o esponjoso por degradación extensa.
- Colonización abundante por micelio y/o carpóforos; sistema vascular destruido.

3.11. Análisis estadístico

Dado que la severidad se expresó mediante una escala ordinal, los datos se analizaron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal & Wallis (1952), con el fin de detectar diferencias significativas entre aislamientos en el nivel de daño ocasionado. Cuando se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), se realizaron comparaciones múltiples post hoc mediante pruebas de rangos ajustadas.

Las variables cuantitativas (p. ej., tamaño de la lesión) se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño completamente al azar, seguido de una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), previa verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Este enfoque combinado permitió evaluar de manera integral la virulencia y severidad de los aislamientos fúngicos, considerando tanto variables continuas como ordinales.

Los datos obtenidos de las pruebas de patogenicidad fueron analizados utilizando el software R (R Core Team), a partir de una base de datos estructurada que incluyó los factores Fungus (aislamiento fúngico), UnitID (unidad experimental), Day (día de evaluación) y Score (escala de severidad).

Previo al análisis, los datos fueron depurados y transformados para asegurar su correcta interpretación estadística. El factor hongo (Fungus) y la unidad experimental (UnitID) se trataron como variables categóricas, mientras que Day y Score se consideraron variables numéricas.

La incidencia de la enfermedad se calculó como el porcentaje de unidades experimentales que presentaron síntomas ($\text{Score} > 0$) para cada aislamiento y día de evaluación. La severidad media se estimó como el promedio de los valores de severidad registrados por aislamiento y día.

La agresividad de los aislamientos se evaluó mediante el cálculo del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC), utilizando los valores de severidad a lo largo del tiempo para cada unidad experimental. El AUDPC se calculó empleando la función correspondiente del paquete agricolae, considerando los días de evaluación como el eje temporal.

Para comparar la agresividad entre aislamientos, los valores de AUDPC se sometieron a un análisis de varianza de una vía (ANOVA), considerando al aislamiento fúngico como factor fijo. Cuando se detectaron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$), se realizó una prueba de comparación múltiple de Tukey para identificar diferencias estadísticas entre medias.

Adicionalmente, se calcularon medias marginales estimadas (emmeans) y se asignaron letras de agrupamiento para representar visualmente las diferencias estadísticas entre tratamientos. Los resultados se expresaron como medias $\pm$ error estándar. La representación gráfica de los datos se realizó mediante diagramas de caja, incorporando las letras de significancia estadística, con el fin de visualizar la variabilidad y las diferencias en agresividad entre los aislamientos evaluados.

IV. RESULTADOS

4.1. Síntomas observados en campo

Durante las evaluaciones realizadas en campo, los árboles de *Persea americana* cv. Hass presentaron síntomas y signos de pudrición blanca en la madera, caracterizados por debilitamiento estructural de ramas, fracturas mecánicas sin evidencia previa de pudrición parda, fisuras en la corteza y exposición de tejido leñoso degradado. En cortes transversales y longitudinales, la madera afectada mostró decoloración blanquecina a blanquecino-crema, pérdida marcada de dureza, textura fibrosa a esponjosa y desorganización del xilema, con límites difusos entre tejido sano y alterado. A diferencia de otros tipos de pudrición, no se observó oscurecimiento generalizado ni cubificación de la madera. En árboles con daño avanzado, los síntomas incluyeron muerte regresiva de ramas, reducción del vigor vegetativo y clorosis foliar, particularmente en áreas donde la degradación del tejido leñoso comprometía la estabilidad estructural del árbol. Estos síntomas se registraron de manera consistente en los sitios de muestreo, con variación en su intensidad según el grado de degradación interna de la madera.

4.2. Aislamientos fúngicos obtenidos a partir de tejido leñoso de aguacate

A partir de los muestreos realizados en 15 huertos comerciales de aguacate ubicados en la franja aguacatera del estado de Michoacán, se obtuvieron 28 cepas fúngicas puras a partir de tejido leñoso y carpóforo asociados a árboles de *Persea americana* cv. Hass que presentaban síntomas compatibles con pudrición blanca. Con base en la diversidad morfológica de los carpóforos observados en campo y en las características culturales de las colonias en cultivo, se seleccionaron 10 cepas representativas.

Las cepas seleccionadas correspondieron a distintos municipios de la región de estudio: una cepa del municipio de Ziracuaretiro (CSA); tres cepas de Salvador Escalante (CF32, CF33 y CF35); una cepa de Puruarán (C8); dos cepas de Parácuaro (CB2 y C57); dos cepas de Tancítaro (CG1 y C15); y una cepa de Uruapan (C20) Figura 2.

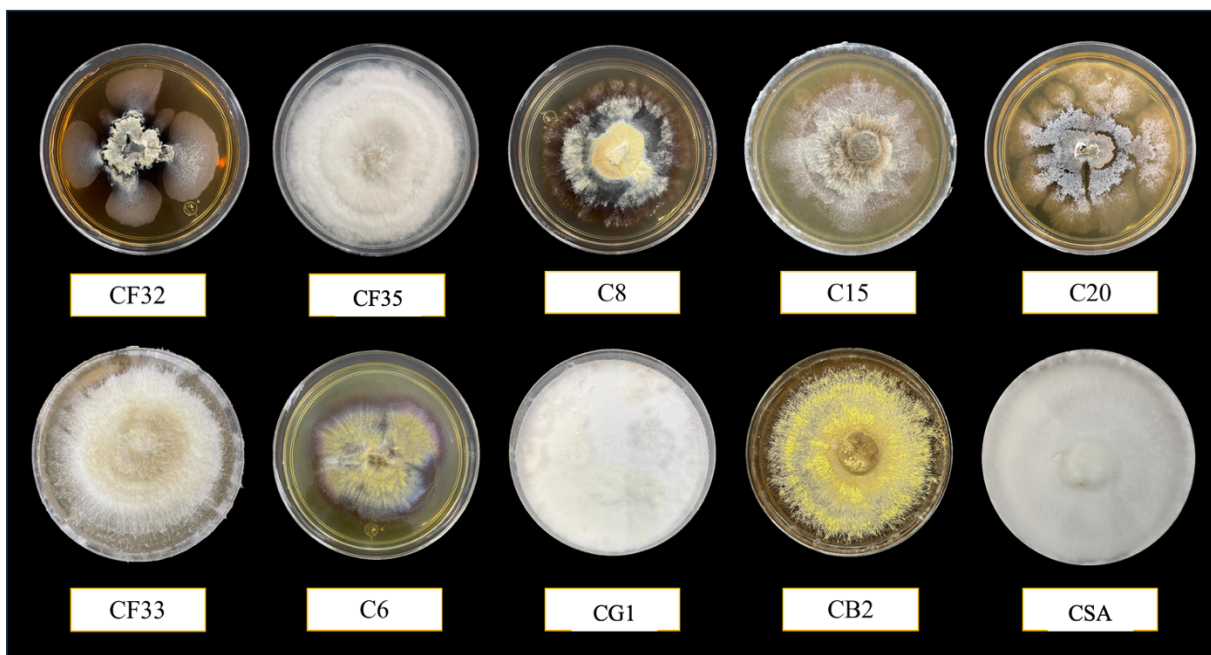


Figura 2. Cepas de corticioides de pudrición blanca, en medio de cultivo PDA, aisladas de carpóforos, tallo y ramas de árboles de aguacate (*Persea americana* cv. Hass) con síntomas de pudrición blanca.

Se seleccionaron tres aislados por sus características como: velocidad de crecimiento, coloración del micelio, textura, producción de exudados y su capacidad de colonizar completamente el medio los cuales fueron (CSA, CG1 y C8). Los cuales presentaron características morfológicas similares, en cuanto a la forma y crecimiento, así como la textura del micelio. Se observó crecimiento radial para la cepa C8 (20 %), con tonalidades marrón claro a marrón oscuro, de igual manera para el caso de los aislados CG1 y CSA presentaron un crecimiento radial (60 %) algodonoso, de una tonalidad que van de blanco a blanco-crema para el caso de ambos aislados.

4.3. Caracterización morfológica de cepas

Las cepas fúngicas aisladas a partir de madera de *Persea americana* cv. Hass presentaron características morfológicas distintas con variaciones intraespecíficas en velocidad de crecimiento y textura micelial. En cultivo en medio papa dextrosa agar (PDA), las colonias mostraron un crecimiento lento a moderado, con micelio predominantemente blanco a blanco-crema, en algunos casos con tonalidades oscuras de aspecto algodonoso, afelpado o

ligeramente aplanado, firmemente adherido al medio de cultivo. El margen de las colonias fue regular a ligeramente irregular, sin producción evidente de pigmentos difusibles ni exudados durante el periodo de incubación evaluado. El reverso de las colonias se mantuvo con tonalidades crema pálido o según el tono del anverso.

A nivel micromorfológico, el análisis mediante microscopía óptica reveló la presencia de hifas hialinas, septadas, con conexiones en fíbulas claramente observables en la mayoría de las cepas. Las hifas presentaron paredes delgadas a moderadamente engrosadas, con ramificaciones frecuentes y diámetro variable. No se observaron estructuras anamórficas ni producción de conidios en condiciones *in vitro*. En algunas cepas se identificó la presencia de hifas generativas y esqueléticas, lo que sugiere un sistema hifal dimítico, característico de basidiomicetos asociados a procesos de pudrición blanca. Figura 3.

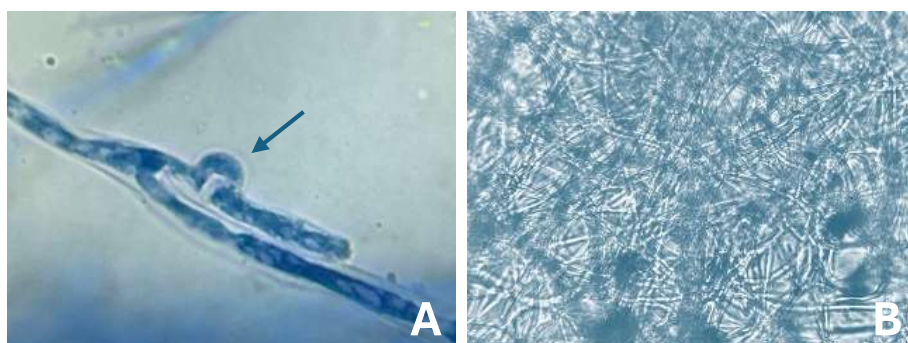


Figura 3. Micrografías de estructuras hifales de basidiomicetos observadas al microscopio óptico: A) se muestran conexiones en fíbulas (arcos señalados), **B)** filamentos hifales hialinos, elementos característicos de basidiomicetos asociados a pudrición blanca.

Las características macro y micromorfológicas observadas fueron consistentes entre cepas, con ligeras variaciones en densidad micelial y patrón de crecimiento, sin que se detectarían rasgos compatibles con hongos causantes de pudrición parda u otros grupos fúngicos no ligninolíticos.

4.4. Caracterización morfológica de carpóforos

De los carpóforos recolectados en los distintos sitios se observaron características macro y microscópicas similares a las descritas para el grupo de hongos conocido como corticioides.

Identificándose tres aislados seleccionados (CG1, CSA y C8) asociadas al cultivo de aguacate.

4.4.1. Caracterización morfológica de carpóforos de *Grammothele* spp. correspondiente a los aislados CSA y CG1

Los carpóforos observados fueron resupinados, firmemente adheridos al sustrato leñoso, con crecimiento superficial extendido sobre la madera, características concordantes con lo descrito para el género *Grammothele* por Berkeley y Curtis (1868) y por estudios taxonómicos posteriores (Zhou & Dai, 2012; Yuan *et al.*, 2023). Los carpóforos delgados, de consistencia membranosa a coriácea, presentándose como costras irregulares que cubrían áreas variables del tronco y ramas afectadas.

La superficie himenial mostró un himenóforo poroide a irregular (irpicoide), con poros poco profundos y dispuestos de manera angular a sinuosa, rasgo diagnóstico reportado para *Grammothele* y géneros afines dentro de Polyporales (Ryvarden & Gilbertson, 1993; Zhou & Dai, 2012). La coloración del himenio varió de blanco a blanco-crema, sin evidenciar tonos pardos oscuros, coincidiendo con lo descrito para especies del género con estructuras frescas o poco desarrollados (Wu *et al.*, 2016).

En corte longitudinal, los carpóforos presentaron un subículo delgado y tubos cortos, con el himenio restringido principalmente a la base de los tubos, característica señalada como distintiva para el género *Grammothele* frente a otros poliporoides resupinados, no se observaron estructuras pileadas, láminas ni diferenciación marcada de capas, lo que concuerda con la morfología típica del grupo (Zhou & Dai, 2012; Yuan *et al.*, 2023).

Las características macromorfológicas registradas en los carpóforos fueron consistentes con las descripciones publicadas para *Grammothele* spp. Figuras 4 y 5, con variaciones menores en extensión, grosor y patrón del himenóforo, atribuibles a diferencias en el sustrato y grado de desarrollo del carpóforo (Berkeley & Curtis, 1868; Wu *et al.*, 2016).



Figura 4. Morfología descrita para *Grammothele* sp. carpóforos resupinados asociados a madera de árboles de aguacate (*Persea americana* cv. Hass) correspondientes al aislado CSA; A) vista general del árbol en campo con síntomas característicos ocasionados por hongos corticioides , B) detalle del himenóforo mostrando superficie poroide irpicoide de color blanco-crema, C) blanqueamiento del xilema expuesto bajo el carpóforo, D y F) carpóforos resupinados desarrollados sobre el tronco, firmemente adheridos al sustrato, E) detalle de la superficie himenial con patrón irregular característico de hongos corticioides, G) área extensa de colonización sobre el tronco con degradación visible del tejido leñoso.



Figura 5. Carpóforos resupinados de *Grammothele* sp. correspondientes al aislado CG1 asociados a árboles de aguacate (*Persea americana* cv. Hass); A) vista general del árbol con áreas extensas de colonización en el tronco ocasionados por hongos corticioides de pudrición blanca, B y C) detalles del himenóforo mostrando superficie odontioide con proyecciones dentiformes cortas y densamente dispuestas, D) carpóforo resupinado de color blanco-crema firmemente adherido al sustrato, E y F) detalles del himenio con patrón rugoso y uniforme, G) área amplia de colonización con blanqueamiento del xilema y degradación visible del tejido leñoso.

4.4.2. Caracterización morfológica de carpóforo de *Dentocorticium portoricense* correspondiente al aislado C8

En campo se registraron carpóforos correspondientes de *Dentocorticium portoricense* asociados a árboles de *Persea americana* cv. Hass. En donde los carpóforos se desarrollaron como resupinados, firmemente adheridos al sustrato leñoso, formando costras irregulares de extensión variable sobre troncos y ramas, principalmente en zonas donde la corteza se encontraba desprendida o dañada. Figuras. 6a, 6d y 6g.

Los carpóforos se presentaron como costras extensas y continuas, de color marrón-claro a marrón-oscuro, cubriendo amplias superficies del tronco. La superficie himenial mostró un patrón odontioide bien definido, con proyecciones dentiformes cortas, densamente dispuestas y orientadas perpendicularmente al sustrato, confiriendo al himenio un aspecto rugoso y uniforme. Figuras 6b, 6c, 6e y 6f. En las áreas adyacentes se observó blanqueamiento del xilema, acompañado de pérdida de firmeza del tejido leñoso, sin evidencia de oscurecimiento ni fracturación cúbica.

Se desarrollaron como costras discontinuas, de menor extensión, con crecimiento irregular sobre ramas y cortes de poda recientes. La coloración del himenio varió de crema pálido a amarillento, con textura superficial más granulosa. El carpóforo mantuvo un patrón odontioide, aunque con proyecciones menos uniformes y distribución irregular. Figuras 6a–g. Estas estructuras se localizaron principalmente en zonas elevadas del tronco y ramas secundarias, frecuentemente asociadas a heridas o áreas expuestas del tejido leñoso.

Las características macromorfológicas observadas fueron consistentes con el hábito corticioide resupinado y el carpóforo odontioide descritos para *Dentocorticium portoricense*, registrándose diferencias principalmente en la extensión del carpóforo, coloración del himenio y densidad de las proyecciones dentiformes, sin cambios cualitativos en la morfología general del carpóforo.



Figura 6. Carpóforos resupinados de *Dentocorticium portoricense*, correspondientes al aislado C8 desarrollados sobre tronco y ramas de aguacate (*Persea americana* cv. Hass); **A)** vista general del árbol hospedero con síntomas característico ocasionados por hongos corticioides de pudrición blanca, **B y C)** carpóforos con crecimiento irregular sobre ramas, de coloración crema a amarillenta, **D)** desarrollo discontinuo del carpóforo sobre el tronco, **E y F)** detalles del carpóforo odontioide con proyecciones dentiformes menos uniformes, **G)** carpóforo asociado a heridas de poda, firmemente adherido al sustrato leñoso.

4.5. Pruebas de patogenicidad en plántulas de aguacate

Todas las plántulas de aguacate inoculadas; presentaron los primeros síntomas y signos de la enfermedad a los 82 días posteriores a la inoculación; los síntomas iniciales fueron manchas cloróticas en el área foliar, algunas hojas presentaron muerte celular apical progresiva, seguido por pudrición, en cuanto a los signos se obtuvieron después los 125 días después de la inoculación, con una notable invasión de micelio de color blanco con tonos crema de textura corchosa, sobre el sustrato (tallo de las plántulas). Figuras 8-10.

4.6. Incidencia, severidad y agresividad de hongos corticioides

Las pruebas de patogenicidad mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los aislamientos evaluados en términos de incidencia, severidad y agresividad, de acuerdo con los análisis estadísticos realizados y lo observado en la figura 7.

El análisis de varianza (ANOVA) indicó un efecto significativo del factor hongo sobre las variables evaluadas, evidenciando diferencias significativas entre los aislamientos ($P < 0.05$). Con base en este resultado, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey, la cual permitió identificar grupos estadísticamente diferenciados, indicados mediante letras distintas en la figura 7.

En cuanto a la incidencia de la enfermedad, los aislamientos *Grammothele* (CG1) y *Grammothele* (CSA) presentaron valores estadísticamente similares entre sí, sin diferencias significativas, agrupándose en el mismo grupo estadístico (grupo a). En contraste, el aislamiento *Dentocorticium portoricense* (C8) mostró una incidencia significativamente mayor, diferenciándose de los aislamientos de *Grammothele* y conformando un grupo estadístico independiente (grupo b). Figura 7a.

Respecto a la severidad de la enfermedad, se observó un patrón consistente con los resultados de incidencia. El aislamiento *D. portoricense* C8 registró el mayor nivel de daño tisular, con una media de 84.0 ± 3.96 , significativamente superior a las observadas en *Grammothele* CSA (63.8 ± 3.96) y *Grammothele* CG1 (51.8 ± 3.96), las cuales no difirieron significativamente entre sí y se agruparon en el mismo grupo estadístico. Figura. 7b.

El análisis de la agresividad, estimada mediante el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC), mostró el mismo patrón estadístico. El aislamiento *D. portoricense* (C8) presentó los valores más altos de AUDPC, mientras que *Grammothele* (CSA) y *Grammothele* (CG1) mostraron valores significativamente menores y estadísticamente similares entre sí. Figura 7c.

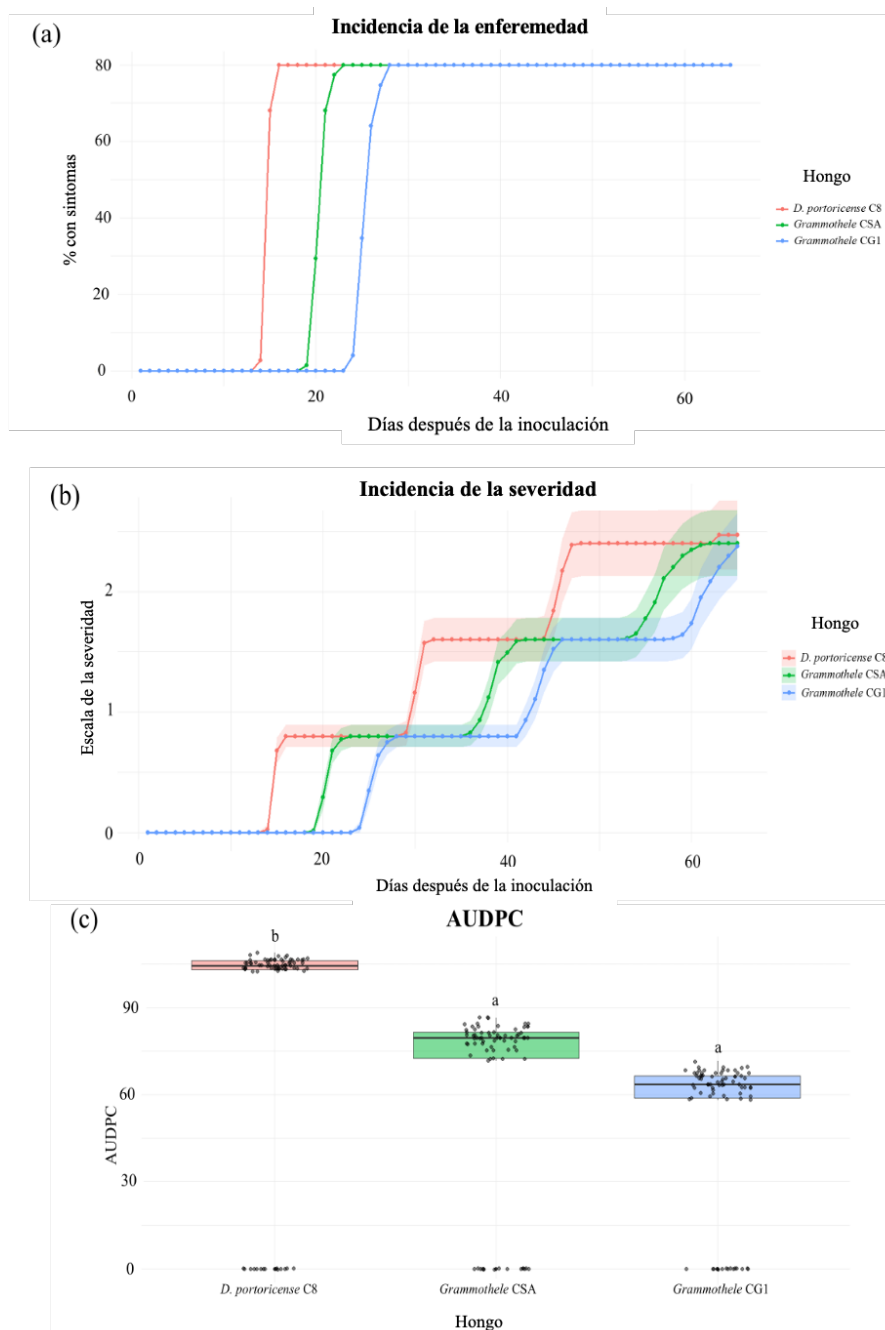


Figura 7. Resultados de las pruebas de patogenicidad de los aislamientos de hongos corticioides evaluados. A) incidencia de la enfermedad, expresada como el

porcentaje de plantas con síntomas, **B)** severidad de la enfermedad, estimada a partir del grado de daño tisular observado, **C)** agresividad, expresada como el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC).

4.7. Identificación patogénica de hongos corticioides

Las pruebas de patogenicidad realizadas en plántulas de *Persea americana* cv. Hass inoculadas con hongos corticioides evidenciaron la aparición progresiva de síntomas foliares, caulinares y alteraciones del tejido leñoso, así como la presencia de signos asociados al desarrollo micelial, tanto en condiciones *in vitro* como en plantas inoculadas bajo condiciones controladas. Figuras 8-10.

En los aislamientos de *Grammothele* (CG1 y CSA), las colonias desarrolladas en medio de cultivo mostraron crecimiento radial uniforme, con micelio blanco a blanco-crema, de textura algodonosa y zonación concéntrica evidente en el anverso de las colonias. Figura 8a–b; Figura 9a. No se observó la formación de estructuras reproductivas macroscópicas durante el periodo de evaluación.

En las plantas inoculadas con *Grammothele*, los síntomas iniciales se manifestaron como clorosis intervenal y moteado clorótico irregular distribuido a lo largo del limbo foliar, tanto en hojas jóvenes como maduras. Figura 8c–e; Figura 9b y e. Conforme avanzó el periodo de evaluación, estos síntomas progresaron hacia marchitez parcial del follaje, caracterizada por pérdida de turgencia y curvatura de las hojas, seguida de muerte celular foliar, principalmente en ápices y márgenes. Figura 8f–g; Figura 9e–f. En etapas avanzadas, se observó muerte regresiva de brotes, con secamiento progresivo de ramas laterales y reducción visible del vigor vegetativo de las plántulas. Figura 8g; Figura 9g.

A nivel del tallo, las plantas inoculadas con *Grammothele* presentaron lesiones localizadas en el punto de inoculación, caracterizadas por decoloración del tejido cortical y delimitación visible del área afectada. Figura 8f.

En el caso de los aislados de *Dentocorticium portoricense* (C8), las colonias en medio de cultivo presentaron un micelio blanco denso, con crecimiento homogéneo y expansión radial continua, cubriendo la superficie del medio de cultivo de manera uniforme. Figura 10a.

Las plantas inoculadas con este aislamiento desarrollaron síntomas foliares más intensos, iniciando con moteado clorótico marcado y clorosis generalizada en el limbo foliar. Figura 10b. Posteriormente, se observó marchitez avanzada, con colapso del tejido foliar, seguida de muerte celular de ramas, secamiento del follaje y muerte regresiva evidente de la parte aérea. Figura 10c–e.

Como signos del patógeno, en los tallos inoculados con *D. portoricense* se detectó colonización externa abundante, caracterizada por la presencia de crecimiento micelial firmemente adherido a la superficie cortical, particularmente alrededor del punto de inoculación. Figura 10f. Los cortes longitudinales del tallo mostraron blanqueamiento del tejido leñoso, alteración estructural del xilema y pérdida marcada de consistencia, evidenciando una degradación progresiva del tejido leñoso asociada a la colonización fúngica. Figura 10g.

En conjunto, las figuras 8 a 10 documentan de manera visual la secuencia de aparición y progresión de síntomas en hojas, tallos y tejido leñoso, así como la presencia de signos miceliales, permitiendo sustentar los resultados cuantitativos de incidencia, severidad y agresividad obtenidos en las evaluaciones de patogenicidad.

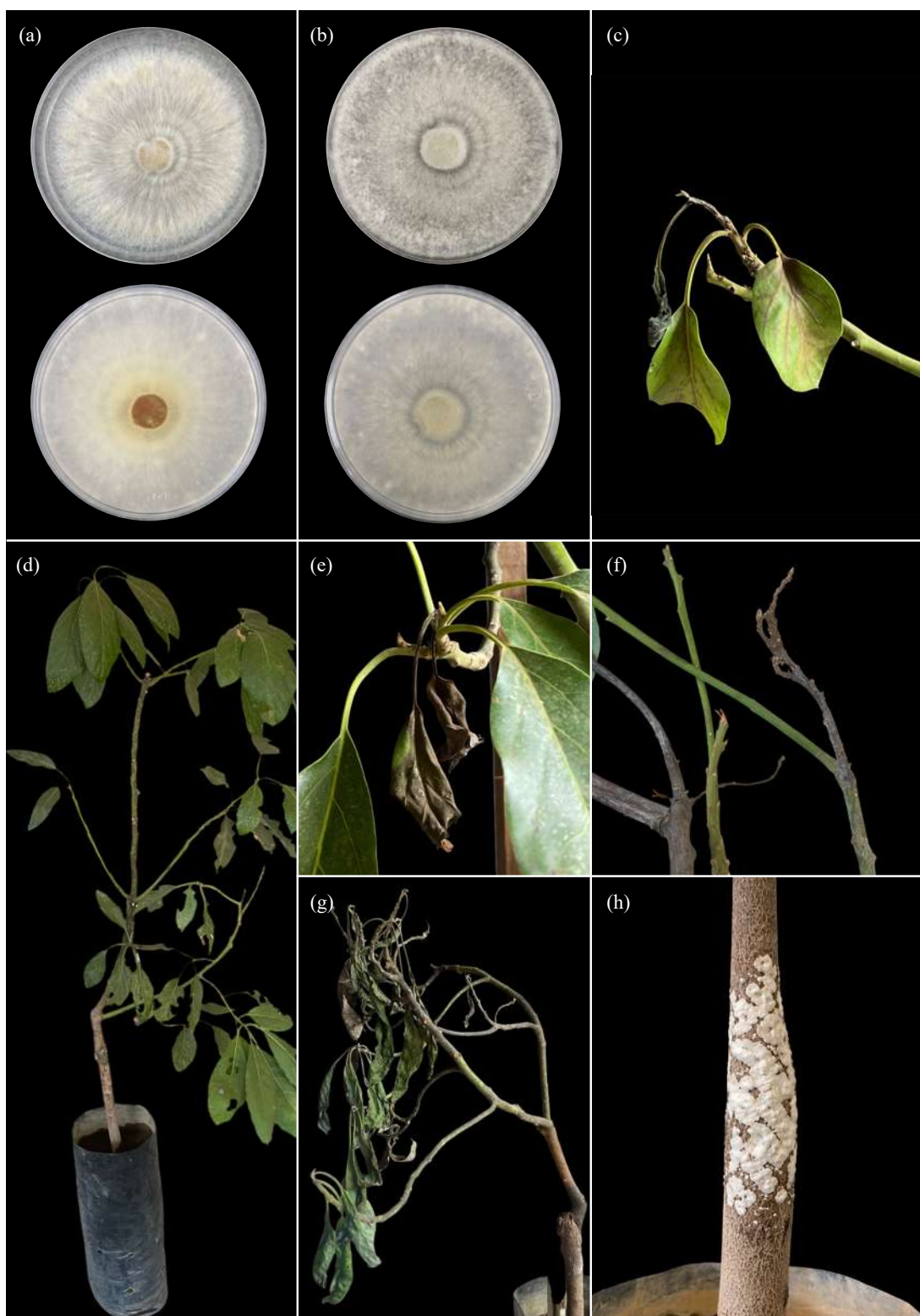


Figura 8. Patogenicidad – *Grammothele* sp. evidencia visual de patogenicidad y signos asociados a aislamientos de *Grammothele* sp. en plántulas de aguacate (*Persea americana* cv. Hass) correspondientes al aislado CG1; A) crecimiento

colonial en caja Petri (vista superior/anverso y vista inferior/reverso), con micelio blanco a blanco-crema y zonación radial, **B)** crecimiento colonial de un segundo aislamiento en caja Petri (anverso y reverso), con micelio blanco grisáceo, zonación concéntrica tenue y centro más denso, **C)** hojas con presencia de marchitez y muerte descendente ocasionado por el fitopatógeno, **D)** plántula completa mostrando decaimiento general (reducción del vigor) con follaje aún presente, **E)** detalle de brote/ramilla con marchitez y muerte celular foliar (hojas colapsadas, pardas y secas) colgantes, **F)** ramillas con muerte regresiva y secamiento progresivo del extremo apical, **G)** plántula con marchitez severa y colapso de la parte aérea (follaje flácido y deshidratado), **H)** tallo de plántula con signos externos: presencia de crecimiento superficial blanquecino/costroso adherido a la corteza (colonización visible en superficie).

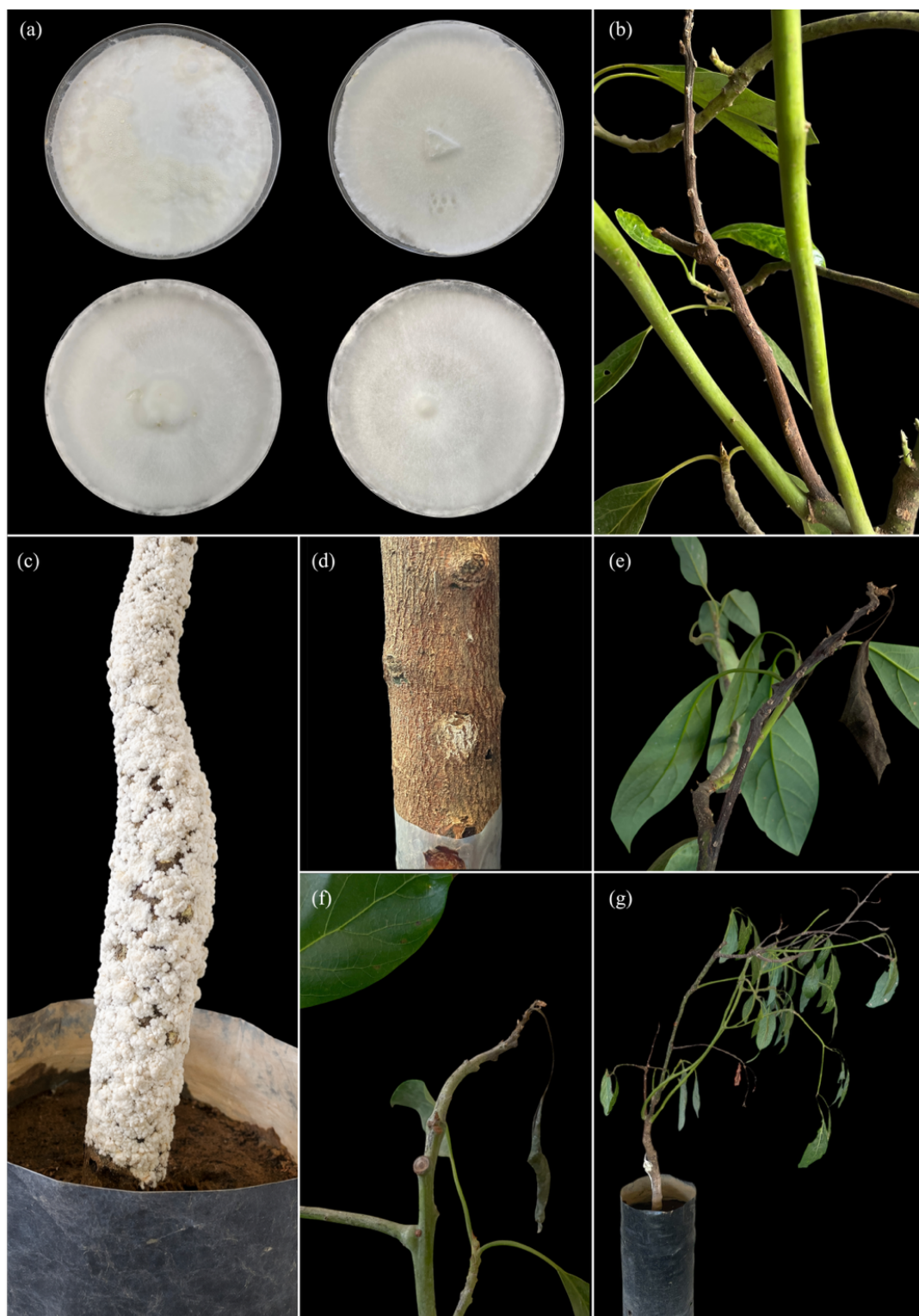


Figura 9. Síntomas y signos observados en pruebas de patogenicidad con *Grammothele* sp; en plántulas de aguacate (*Persea americana* cv. Hass) y sustratos leñosos, correspondientes al aislado CSA; A) colonias en

medio de cultivo (cuatro cajas Petri), con micelio blanco y crecimiento homogéneo; se observa variación en densidad/centro entre repeticiones, **B)** ramillas/tallos con muerte celular localizada y muerte regresiva en segmentos (tejido pardo y seco en porciones del brote), **C)** tallo de plántula con colonización externa abundante, visible como recubrimiento blanco/granuloso que cubre gran parte de la superficie cortical (signo), **D)** sustrato leñoso con expresión inicial del carpóforo de coloración blanquecina con bordes irregulares, **E y F)** ramas apicales con muerte celular avanzada y secamiento (segmentos oscuros/pardos) con hojas afectadas, **G)** plántula con decaimiento general, marchitez y reducción marcada del vigor (follaje caído y deshidratado).

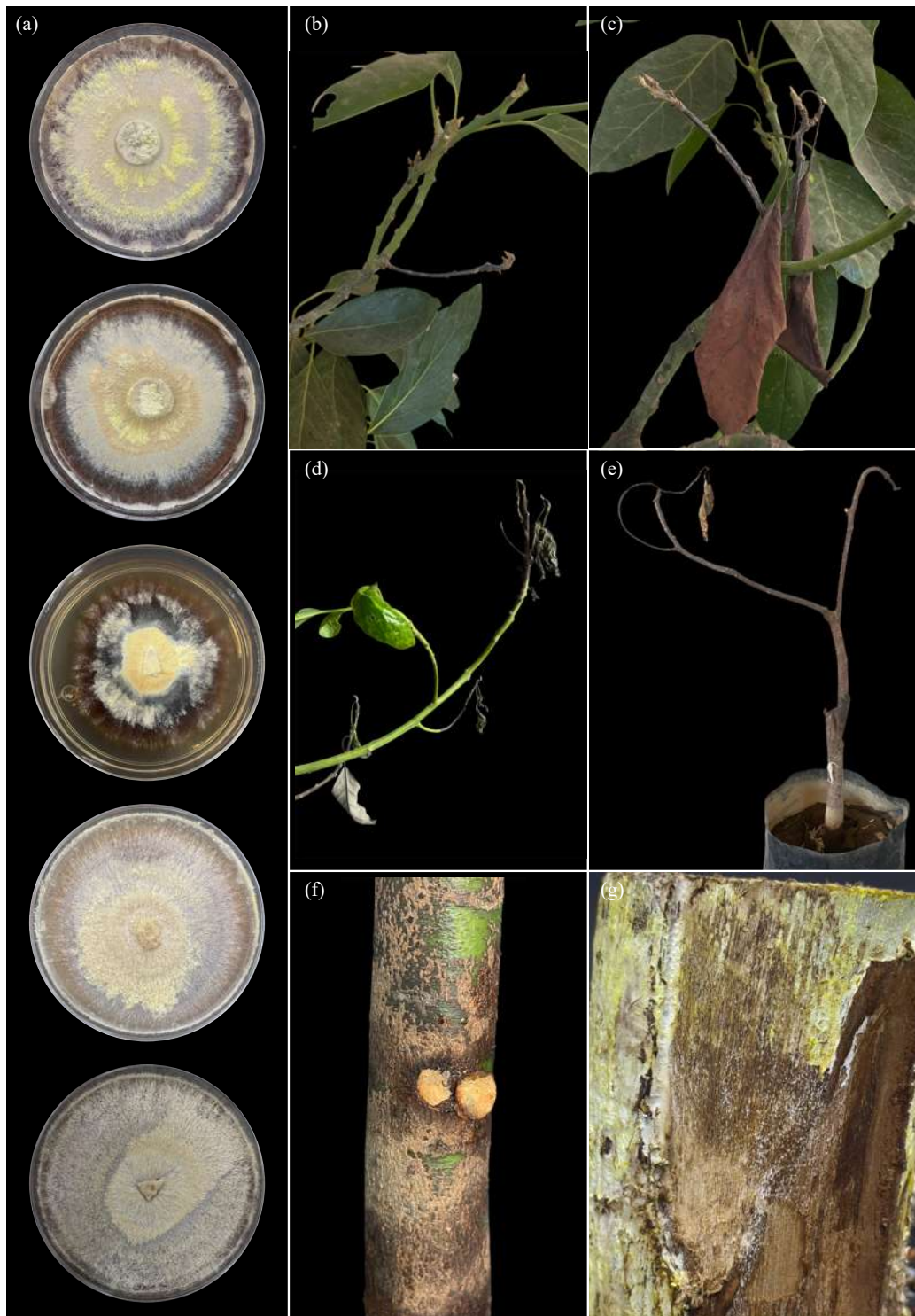


Figura 10. Síntomas y signos observados en pruebas de patogenicidad de *Dentocorticium portoricense* en plántulas de aguacate (*Persea americana* cv. Hass) y su crecimiento en cultivo, correspondientes al aislado C8; A) colonias en medio de cultivo (cinco cajas Petri) con zonación

marcada: áreas concéntricas con micelio blanco-crema y sectores con pigmentación amarillenta a parda; se aprecia variación entre placas, **B)** ramilla apical con muerte celular y defoliación ocasionada por el fitopatógeno, **C)** muerte descendente en ramas apicales de la plántula con presencia de marchitez, **D)** muerte celular foliar (hojas pardas, secas) con presencia de ramillas con decaimiento, **E)** plántula con muerte regresiva severa y defoliación/colapso de la parte aérea (ramificación seca con pérdida marcada de follaje), **F)** tallo con lesiones/áreas de inoculación visibles como dos puntos circulares de coloración clara (sitios marcados en corteza; compatibles con puntos de inoculación), **G)** tejido leñoso expuesto con decoloración y alteración visible de la superficie (zona parda y zonas claras/amarillentas), con presencia de material superficial compatible con colonización fúngica sobre el área expuesta.

4.8. Identificación molecular

Identificación molecular basada en la región ITS permitió delimitar filogenéticamente tres cepas de hongos corticioides: dos correspondientes al género *Grammothele* (aislamientos CG1 y CSA) y una al género *Dentocorticium* (C8). La asignación se sustentó mediante análisis filogenéticos realizados por inferencia bayesiana y soporte complementario por máxima verosimilitud, incorporando secuencias de referencia disponibles en bases de datos públicas. Figuras 11 y 12.

4.8.1. Aislamientos de *Grammothele* (CG1 y CSA)

En el árbol filogenético basado en la región ITS del género *Grammothele*, las secuencias PX805601 (UMSNH_GPA_CG1) y PX805602 (UMSNH_GPA_CSA) se agruparon conjuntamente dentro de un mismo clado (resaltado), el cual presentó altos valores de soporte estadístico en sus nodos (PP/BS = 1/99, según se indica en el nodo correspondiente). Dicho clado se ubicó dentro del linaje de *Grammothele* incluido en el análisis y se encontró claramente separado del grupo externo *Porogramme albocincta*, utilizado para el enraizamiento del árbol. La topología obtenida respalda la asignación de ambos aislamientos como *Grammothele* sp. con base en el marcador ITS. Figura 11.

4.8.2. Aislamiento de *Dentocorticium* (C8)

En el árbol filogenético basado en la región ITS del género *Dentocorticium*, la secuencia PX805603 (UMSNH_DPA_C8) se ubicó dentro del clado que incluye secuencias de referencia identificadas como *Dentocorticium portoricense*, con alto soporte estadístico (PP/BS = 1/100, según se indica en el nodo correspondiente). El aislamiento C8 se diferenció claramente de otros linajes del género incluidos en el análisis, tales como *D. bicolor*, *D. ussuricum*, *D. taiwanianum* y *D. sulphurellum*. El árbol fue enraizado utilizando *Dendrocorticiopsis lutea* como grupo externo, lo que permitió interpretar con mayor claridad la afinidad filogenética del aislamiento C8 con el clado de *D. portoricense*. Figura 12. En conjunto, el análisis basado en ITS respalda la identificación del aislamiento UMSNH_DPA_C8 como *Dentocorticium portoricense*.

El análisis filogenético basado en secuencias ITS permitió resolver de manera robusta las relaciones filogenéticas de los aislamientos analizados dentro de los géneros *Dentocorticium* y *Grammothele*. En ambos casos, los árboles obtenidos mostraron topologías estables y valores elevados de soporte, respaldados por una adecuada convergencia de las cadenas MCMC. En el árbol correspondiente a *Dentocorticium*, el aislado C8 se agrupó de manera consistente dentro del clado de *Dentocorticium portoricense*, con soporte máximo tanto en la inferencia bayesiana como en el análisis de máxima verosimilitud (probabilidad posterior = 1.0; bootstrap = 100). El análisis bayesiano generó un total de 14,002 árboles, distribuidos en dos archivos independientes. Tras la eliminación del burn-in, se muestrearon 10,502 árboles, correspondientes a 5,251 árboles por archivo, a partir de 7,001 árboles generados en cada uno. La convergencia del análisis fue adecuada, con una desviación estándar de las frecuencias de partición de 0.002124, lo que indica una alta estabilidad del árbol de consenso. La topología obtenida mostró longitudes de rama cortas dentro del clado de *D. portoricense*, evidenciando una alta afinidad genética entre el aislado C8 y las secuencias de referencia.

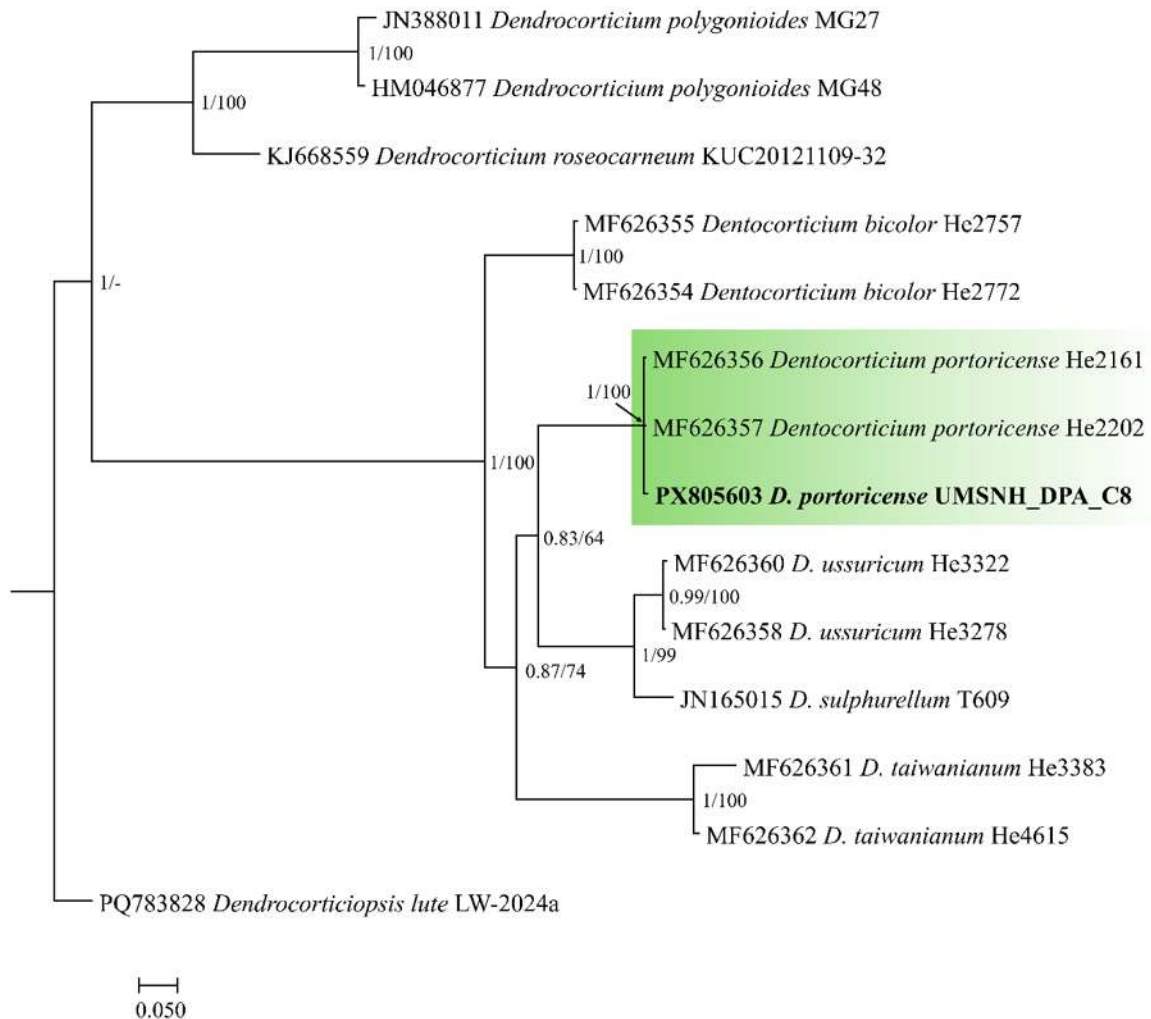


Figura 11. Árbol filogenético del género *Dentocorticium* correspondiente al aislado C8 basado en secuencias ITS, obtenido mediante inferencia bayesiana. Los valores de soporte mostrados en los nodos corresponden a probabilidad posterior bayesiana/bootstrap de máxima verosimilitud. El aislado del presente estudio (C8) se indica en negritas y se agrupa dentro del clado de *Dentocorticium portoricense* con soporte máximo (PP = 1.0; BS = 100). El árbol fue enraizado utilizando *Dendrocorticiopsis lutea*, *Dentocorticium polygonioides* y *Dentocorticium roseocarneum* como grupos externos. La barra de escala indica el número esperado de sustituciones por sitio.

Para el género *Grammothele*, las cepas analizadas se agruparon formando un clado independiente, claramente diferenciado del grupo externo, y con soporte máximo en ambos enfoques filogenéticos (probabilidad posterior = 1.0; bootstrap = 99). En este caso, el análisis bayesiano produjo un total de 10,002 árboles, también distribuidos en dos archivos. Tras la exclusión del burn-in, se muestrearon 7,502 árboles, equivalentes a 3,751 árboles por archivo, a partir de 5,001 árboles generados en cada archivo. La desviación estándar de las frecuencias de partición fue de 0.003065, confirmando una adecuada convergencia de las cadenas y la estabilidad del árbol resultante. La topología evidenció una clara separación filogenética entre las cepas de *Grammothele* y el grupo externo, sin incongruencias entre los análisis bayesiano y de máxima verosimilitud.

En conjunto, los resultados obtenidos para ambos géneros respaldan de manera sólida la asignación filogenética de los aislamientos estudiados, sustentada por valores elevados de soporte y topologías congruentes entre los distintos enfoques analíticos.

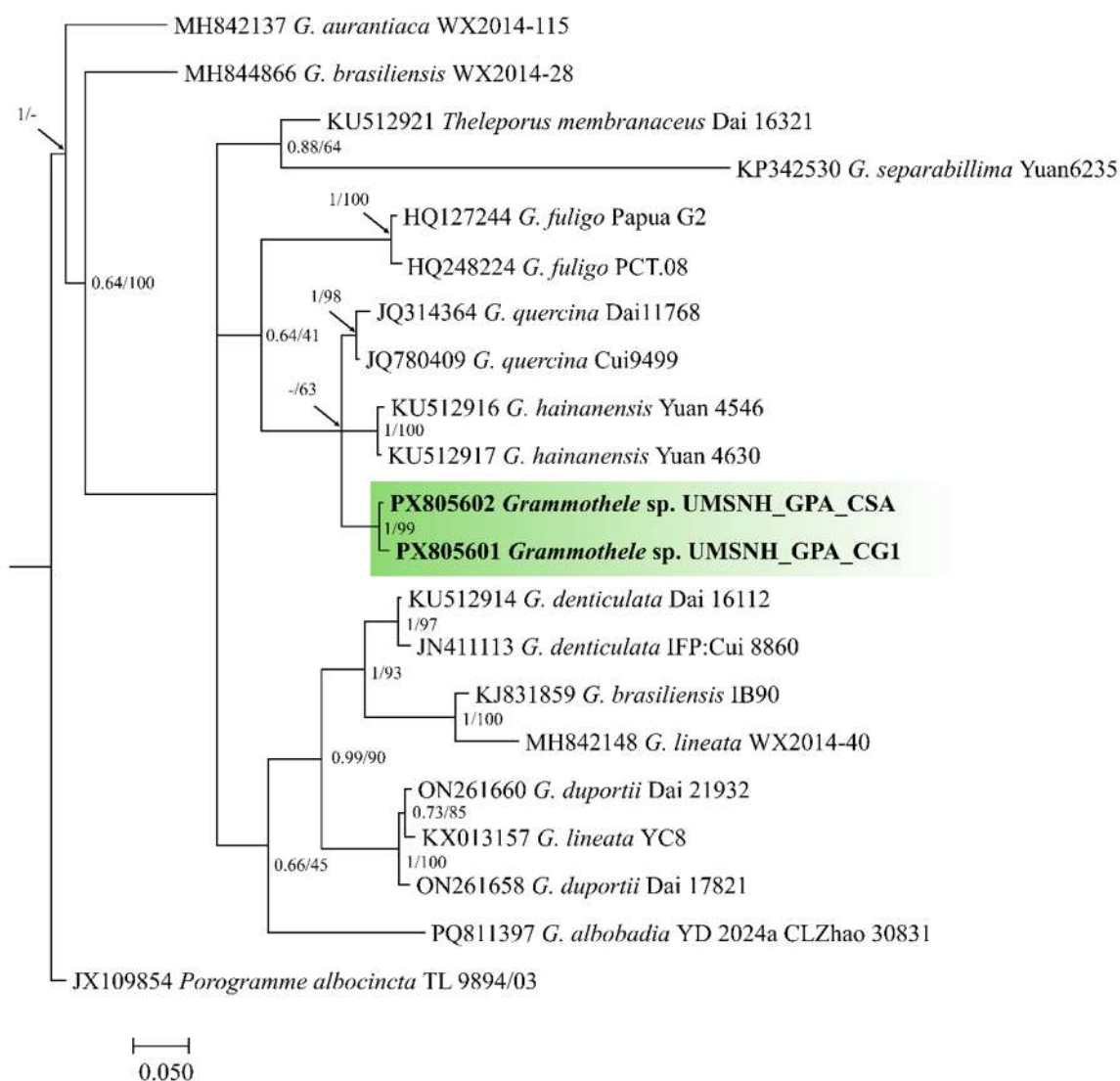


Figura 12. Árbol filogenético del género *Grammothele* correspondientes a los aislados CG1 y CSA, basado en secuencias de la región ITS, obtenido mediante inferencia bayesiana. Los valores de soporte en los nodos corresponden a probabilidad posterior bayesiana / bootstrap de máxima verosimilitud. Las cepas analizadas en este estudio forman un clado independiente, claramente diferenciado del grupo externo *Porogramme albocincta*, con soporte máximo (PP = 1.0; BS = 99). La barra de escala indica el número esperado de sustituciones por sitio.

V. DISCUSIÓN

5.1. Identificación de hongos corticioides mediante caracterización morfológica y análisis filogenéticos

La caracterización morfológica de los carpóforos reveló rasgos típicos de hongos corticioides asociados a pudrición blanca, como carpóforos resupinados, superficies himeniales blanquecinas a crema y textura coriácea a cerosa, compatibles con los géneros *Grammothele* y *Dentocorticium*. Estas características coinciden con descripciones taxonómicas previas para ambos géneros (Hjortstam & Ryvarden, 2007; Bernicchia & Gorjón, 2010).

No obstante, como se ha señalado ampliamente en la literatura, la homoplasia morfológica de los hongos corticioides y la escasez de caracteres macroscópicos diagnósticos, dificultan la delimitación específica basada exclusivamente en morfología (Larsson, 2007; Telleria *et al.*, 2013). En este contexto, los resultados del presente estudio refuerzan la necesidad de integrar herramientas moleculares para una identificación taxonómica confiable. El análisis filogenético basado en la región ITS permitió confirmar la afinidad genérica de todos los aislamientos y la identificación confiable de *Dentocorticium portoricense*, respaldada por alto soporte estadístico. En contraste, los aislamientos asignados a *Grammothele* se ubicaron claramente dentro del género, pero no pudieron delimitarse a nivel específico, lo que evidencia las limitaciones del marcador ITS en este grupo y sugiere la posible existencia de linajes no descritos o poco representados en bases de datos públicas (Schoch *et al.*, 2012).

5.2. Patogenicidad, severidad y agresividad de los aislamientos

Las pruebas de patogenicidad demostraron que los aislamientos evaluados son capaces de inducir síntomas consistentes con los observados en campo, cumpliendo así con los criterios básicos de causalidad. Sin embargo, se detectaron diferencias significativas en la capacidad patogénica entre los taxa evaluados. El aislamiento identificado como *Dentocorticium portoricense* (C8) presentó los valores más altos de incidencia, severidad y AUDPC, lo que indica una mayor agresividad, entendida como la velocidad y magnitud del desarrollo de la enfermedad en el tiempo (Shaner & Finney, 1977). En contraste, los aislamientos *Grammothele* sp. (CG1 y CSA) mostraron un comportamiento patogénico

moderado, con progresión más lenta de los síntomas y valores de AUDPC significativamente menores.

Estas diferencias pueden estar relacionadas con variaciones en la capacidad enzimática ligninolítica, particularmente en la producción de lacasas, peroxidasas y manganeso peroxidasas, enzimas clave en la degradación de la pared celular vegetal (Hatakka, 1994; Martínez *et al.*, 2005). Estudios previos han documentado que especies de *Dentocorticium* pueden presentar una actividad degradativa elevada, favoreciendo un avance más rápido de la pudrición blanca en hospedantes leñosos (Gilbertson & Ryvarden, 1987).

La congruencia entre la evidencia morfológica, patogénica y filogenética fortalece la validez de los resultados obtenidos y pone de manifiesto la utilidad de un enfoque integrativo para el estudio de hongos de morfología corticioide asociados a enfermedades de la madera. Asimismo, los resultados sugieren la posible existencia de linajes no descritos o subrepresentados en bases de datos públicas, particularmente dentro del género *Grammothele*, lo que resalta la necesidad de futuros estudios taxonómicos apoyados en enfoques multilocus y en una caracterización morfo-funcional más detallada (Gorjón, 2020). Desde una perspectiva fitosanitaria, la identificación de hongos de morfología corticioide con distinta agresividad patogénica tiene implicaciones relevantes para el manejo sanitario de huertas de aguacate. La naturaleza crónica y de progresión lenta de la pudrición blanca dificulta su detección temprana en campo, por lo que el conocimiento preciso de los agentes involucrados resulta fundamental para el diseño de estrategias de monitoreo, diagnóstico oportuno y manejo preventivo (Schwarze *et al.*, 2013).

VI. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos confirman que los hongos corticioides estudiados correspondientes a los aislados CG1, CSA y C8, están directamente asociados a la pudrición blanca de la madera en aguacate.
2. La evidencia morfológica permitió reconocer afinidad con los géneros *Grammothele* y *Dentocorticium*, aunque la alta homoplasia de los caracteres limitó la resolución taxonómica.
3. El análisis molecular basado en ITS corroboró la identidad genérica y permitió identificar al aislamiento C8 como *Dentocorticium portoricense*, mientras que los aislamientos CSA y CG1 se lograron agrupar dentro del género *Grammothele*.
4. Las pruebas de patogenicidad demostraron que todos los aislamientos son capaces de causar síntomas en aguacate, con diferencias marcadas en agresividad, destacando el comportamiento más virulento de *D. portoricense*.

VII. LITERATURA CITADA

- Agrios, G. N. 2005.** *Plant pathology* (5th ed.). Elsevier Academic Press.
- Ahn, E., Fall, C., Botkin, J., Curtin, S., Prom, L. K., & Magill, C. 2023.** Inoculation and screening methods for major sorghum diseases caused by fungal pathogens: *Claviceps africana*, *Colletotrichum sublineola*, *Sporisorium reilianum*, *Peronosclerospora sorghi* and *Macrophomina phaseolina*. *Plants*, 12(9), 1906. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12091906>
- Akrofi, A. Y., Amoako-Atta, I., Assuah, M., & Kumi-Asare, E. 2014.** Pink disease caused by *Erythricium salmonicolor*: An epidemiological assessment of its potential effect on cocoa production in Ghana. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 5, 215. DOI: <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000215>
- Alexopoulos, C. J., Mims, C. W., & Blackwell, M. 1996.** *Introductory mycology* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Alves, A., Crous, P. W., Correia, A., & Phillips, A. J. L. 2008.** Morphological and molecular data reveal cryptic speciation in *Lasiodiplodia theobromae*. *Fungal Diversity*, 28, 1–13.
- Avocado Institute of Mexico. 2025.** Estimación de la derrama económica de la agroindustria del aguacate en Michoacán y Jalisco, México. <https://avocadoinstitute.org>
- Berkeley, M. J., & Curtis, M. A. 1868.** Fungi Cubenses (Hymenomycetes). *Journal of the Linnean Society. Botany*, 10, 280–392.
- Bernicchia, A., & Gorjón, S. P. 2010.** Corticiaceae s.l. *Fungi Europaei*, Vol. 12. Edizioni Candusso.
- Binder, M., Hibbett, D. S., Larsson, K.-H., Larsson, E., & Langer, E. 2005.** The phylogenetic distribution of resupinate forms across the major clades of mushroom-forming fungi. *Systematics and Biodiversity*, 3(2), 113–157. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1477200005001623>
- Binder, M., Justo, A., Riley, R., Salamov, A., Lopez-Giraldez, F., Sjökvist, E., & Hibbett, D. S. 2013.** Phylogenetic and phylogenomic overview of the Polyporales. *Mycologia*, 105(6), 1350–1373. DOI: <https://doi.org/10.3852/13-003>

- Blanchette, R. A. 1991.** Delignification by wood-decay fungi. *Annual Review of Phytopathology*, 29, 381–398.
DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.py.29.090191.002121>
- Bridge, P. D., Roberts, P. J., Spooner, B. M., & Panchal, G. 2003.** On the unreliability of published DNA sequences. *New Phytologist*, 160, 43–48. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00861.x>
- Cisneros-Zambrano, A., Mendoza-Churape, J., Contreras-Cornejo, H. A., Raya Montaña, Y. A., Martínez-González, C. R., Raymundo, T., Valenzuela, R., Vargas-Sandoval, M., Ruiz-Valencia, J. A., & Lara-Chávez, M. B. 2024.** First report of *Irpex rosettiformis* causing white root rot in avocado trees in Michoacán, México. *Plant Disease*, 108(3), 805. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-23-1977-PDN>
- Coetzee, M.P.A., Seonju, M. V. G., & Muthelo, M. J. W. 2015.** *Ganoderma* species, including new taxa associated with root rot of the iconic Jacaranda mimosifolia in Pretoria, South Africa. *IMA Fungus* 6(1): 249–256.
- Contreras-Pacheco, M. 2008.** Estudio taxonómico de Hymenomycetes resupinados lisos de los estados del Golfo y Chiapas, México (Tesis de Maestría). *México D.F.: UNAM*.
- Contreras-Pacheco, M., Pérez-Ramírez, L. & Cifuentes-Blanco, J. 2012.** Estudio taxonómico de hongos corticioides-hidnoides (Hymenomycetes-Fungi) poco conocidos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 15–22.
- Contreras-Pacheco, M., Raymundo, T. & Bautista-Hernández, S. 2014.** Hongos corticioides del bosque Las Bayas, Municipio de Pueblo Nuevo, Durango, México. *Boletín de la Sociedad Micológica de Madrid*, 38, 33–40.
- Crous, P. W., Wingfield, M. J., Burgess, T. I., Hardy, G. E. S. J., Crane, C., Barrett, S., Le Roux, J. J., Thangavel, R., Guarro, J. & Stchigel, A.M. 2016.** Fungal Planet description sheets: 469–557. *Persoonia*.37, 218–403. DOI: <https://doi.org/10.3767/003158516X694499>
- Cruywagen, E. M., Slippers, B., Roux, J., & Wingfield, M. J. 2017.** Phylogenetic species recognition and hybridisation in *Lasiodiplodia*: A case of study on from baobabs. *Fungal Biology*. 121(4): 420-436. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2016.07.014>

- Cui, B.K., Li, H.J., Ji, X., Zhou, J.L., Song, J., Si, J., Yang, Z.L., & Dai, Y.C. 2019.** Species diversity, taxonomy and phylogeny of Polyporaceae (Basidiomycota) in China. *Fungal Diversity*. 97(1): 137–392. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13225-019-00427-4>
- Cutler, D. F., Botha, T., & Stevenson, D. W. 2008.** *Plant anatomy: An applied approach*. Blackwell Publishing.
- Daniel, G. 2016.** Fungal degradation of wood cell walls. En Y. S. Kim, R. Funada, & A. P. Singh (Eds.), *Secondary xylem biology: origins, functions, and applications* (pp. 131–167). Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802185-9.00008-5>
- Darriba, D., Taboada, G. L., Doallo, R., & Posada, D. 2012.** jModelTest 2: More models, new heuristics and parallel computing. *Nature Methods*, 9, 772. DOI: <https://doi.org/10.1038/nmeth.2109>
- Domínguez, A., García-Martín, A., Moreno, E., González, E., Paniagua, L. L., & Allendes, G. 2024.** Identifying Optimal Zones for Avocado (*Persea americana*, Mill) Cultivation in Iberian Peninsula: A Climate Suitability Analysis. *Land*, 13(8), 1290. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13081290>
- Donk, M. A. 1964.** A conspectus of the families of Aphyllophorales. *Persoonia*, 3, 199–324.
- Encinas, O., & Mora, N. 2012.** Patrones de degradación de maderas por hongos de pudrición. *Grupo de Investigación en Conservación de Maderas* (GICOM). Universidad de Los Andes. DOI: https://es.scribd.com/document/684576331/degradacion-de-la-madera-investigacion-copia#google_vignette
- Farooq, Q. U. A., McComb, J. A., Hardy, G. E. St. J., & Burgess, T. I. 2024.** Soil amendments for management of *Phytophthora* root rot in avocado and their impact on the soil microbiome. *Journal of Plant Pathology*, 106, 439–455. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42161-024-01604-4>
- Floudas, D., Binder, M., Riley, R., Barry, K., Blanchette, R. A., Henrissat, B., ... Hibbett, D. S. 2012.** The Paleozoic origin of enzymatic lignin decomposition reconstructed from 31 fungal genomes. *Science*, 336(6089), 1715–1719. <https://doi.org/10.1126/science.1221748>

- Fries, E. M. 1851.** *Novae symbolae mycologicae*. Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis.
- Gilbertson, R. L., & Ryvarden, L. 1987.** North American polypores. Vol. 1: Abortiporus–Lindtneria. *Journal of Basic Microbiology*, 27(5), 282. DOI: <https://doi.org/10.1002/jobm.3620270513>
- Ginns, J. 1998.** Genera of the North American Corticiaceae sensu lato. *Mycologia*, 90(1), 1–35. DOI: <https://doi.org/10.2307/3761008>
- Glen, M., Bougher, N. L., Francis, A. A., Nigg, S. Q., Lee, S. S., Irianto, R., ... Mohammed, C. L. 2009.** *Ganoderma* and *Amauroderma* species associated with root rot disease of *Acacia mangium*. *Australasian Plant Pathology*, 38, 345–356.
- Gorjón, S. P. 2020.** Genera of corticioid fungi: Keys, nomenclature and taxonomy. *Studies in Fungi*, 5(1), 125–309. DOI: <https://doi.org/10.5943/sif/5/1/12>
- Guan, Q. X., Huang, J., & Zhao, C. L. 2023.** Five new species of Schizoporaceae (Basidiomycota, Hymenochaetales) from East Asia. *MycKeys*, 96, 25–56. DOI: <https://doi.org/10.3897/mycokeys.96.99327>
- Hatakka, A. 1994.** Lignin-modifying enzymes from selected white-rot fungi. *FEMS Microbiology Reviews*, 13, 125–135.
- Hawksworth, D. L., Kirk, P. M., Sutton, B. C., & Pegler, D. N. 1995.** *Ainsworth and Bisby's dictionary of the fungi* (8th ed.). CAB International.
- Hernández, D., García-Pérez, O., Perera, S., González-Carracedo, M. A., Rodríguez-Pérez, A., & Siverio, F. 2023.** Fungal Pathogens Associated with Aerial Symptoms of Avocado (*Persea americana* Mill.) in Tenerife (Canary Islands, Spain) Focused on Species of the Family Botryosphaeriaceae. *Microorganisms*, 11(3), 585. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030585>
- Hibbett, D. S., Binder, M., Bischoff, J. F., Blackwell, M., Cannon, P. F., Eriksson, O. E., Zhang, N. 2007.** A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycological Research*, 111(5), 509–547. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2007.03.004>
- Hjortstam, K., & Ryvarden, L. 2007.** *Studies in corticioid fungi*. Synopsis Fungorum 23. Fungiflora.
- Hjortstam, K., Larsson, K.-H., & Ryvarden, L. 1988.** *The Corticiaceae of North Europe* (Vols. 1–8). Fungiflora.

- Hjortstam, K., Eriksson, J., & Ryvarden, L. 1981.** *The Corticiaceae of North Europe* (Vol. 6). Oslo: Fungiflora.
- Hou, L., Ji, D., Dong, W., Yuan, L., Zhang, F., Li, Y., & Zang, L. 2020.** The synergistic action of electro-Fenton and white-rot fungi in the degradation of lignin. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 99. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00099>
- Hubert, E. E. 1931.** *The brown-rot fungi of wood*. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin No. 231.
- Hyde, K. D. 2022.** The numbers of fungi. *Fungal Diversity*, 114(1), 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13225-022-00507-y>
- INFOSIAP. 2025.** *Superficie plantada por estado: Aguacate*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://infosiap.siap.gob.mx>
- Jiang, N., Voglmayr, H., Bian, D.R., Piao, C.G., Wnag, S.K., Li, Y. 2021.** Morphology and phylogeny of *Gnomoniopsis* (Gnomoniaceae, Diaporthales) from fagaceae leaves in China. *Journal of Fungi* 7(10): 792. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof7100792>
- Jung, P. E., Fong, J. J., Park, M. S., Oh, S. Y., Kim, C., & Lim, Y. W. 2014.** Sequence validation for the identification of white-rot fungi *Bjerkandera* in public databases. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24, 1301–1307. DOI: <https://doi.org/10.4014/jmb.1404.04021>
- Justo, A., Miettinen, O., Floudas, D., Ortiz-Santana, B., Sjökvist, E., Larsson, K.-H., ... Hibbett, D. S. 2017.** A revised family-level classification of the Polyporales (Basidiomycota). *Fungal Biology*, 121(9), 798–824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2017.05.010>
- Karsten, P. A. 1868.** *Fungi Fenniae Exsiccati*, Centuria VIII. Helsingfors.
- Katoh, K., & Standley, D. M. 2013.** MAFFT multiple sequence alignment software version 7: Improvements in Performance and Usability. *Molecular Biology and Evolution*, 30(4), 772–780. DOI: <https://doi.org/10.1093/molbev/mst010>
- Kim, S., Park, H., Gruszeński, H. A., Schmale, D. G., & Jung, S. 2019.** Vortex-induced dispersal of a plant pathogen by raindrop impact. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(11), 4917–4922. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1820318116>

- Kirk, T. K., & Farrell, R. L. 1987.** Enzymatic “combustion”: The microbial degradation of lignin. *Annual Review of Microbiology*, 41, 465–505. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.mi.41.100187.002341>
- Koch, R. 1890.** Die Ätiologie der Tuberkulose. *Berliner Klinische Wochenschrift*, 27, 221–230.
- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. 1952.** Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583–621.
- Langer, E. 1994.** Die Gattung *Hyphodontia* John Eriksson. *Bibliotheca Mycologica* 154: 1–298.
- Lara, C. A. 2008.** Escala visual para la evaluación de síntomas aéreos en maíz. *Manual de evaluación de enfermedades*. Universidad Autónoma Chapingo
- Larsson, K.-H., Larsson, E., & Kõljalg, U. 2004.** High phylogenetic diversity among corticioid homobasidiomycetes. *Mycological Research*, 108(9), 983–1002.
- Larsson, K.-H., Parmasto, E., Fischer, M., Langer, E., Nakasone, K. K., & Redhead, S. A. 2006.** Hymenochaetales: a molecular phylogeny for the hymenochaetoid clade. *Mycologia*, 98(6), 926–936.
- Larsson, K.-H. 2007.** Re-thinking the classification of corticioid fungi. *Mycological Research*, 111(9), 1040–1063. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2007.08.001>
- Liu, Y. L., Whelen, S., & Hall, B. D. 1999.** Phylogenetic relationships among ascomycetes: Evidence from RNA polymerase II. *Molecular Biology and Evolution*, 16, 1799–1808. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a026092>
- Luo, K.Y., Chen, Z.Y., & Zhao, C.L. 2022.** Phylogenetic and taxonomic analyses of three new woodinhabiting Fungi of *Xylodon* (Basidiomycota) in a Forest Ecological System. *Journal of Fungi*, 8(4): 405. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof8040405>
- Marañón-Jiménez, S., Radujković, D., Verbruggen, E., Grau, O., Cuntz, M., Peñuelas, J., Richter, A., Schrumpf, M., & Rebmann, C. 2021.** Shifts in the abundances of saprotrophic and ectomycorrhizal fungi with altered leaf litter inputs. *Frontiers in Plant Science*, 12, 682142. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.682142>
- Martínez, A. T., Speranza, M., Ruiz-Dueñas, F. J., Ferreira, P., Camarero, S., Guillén, F., Martínez, M. J., Gutiérrez, A., & del Río, J. C. 2005.** Biodegradation of

- lignocellulosics: Microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. *International Microbiology*, 8(3), 195–204.
- Martínez, A., & Fierro, R. 2020.** Estadística aplicada a las ciencias biológicas y de la salud. McGraw-Hill Education
- Martínez-Ávila, S., Ortega-Domínguez, J., & Díaz-Valderrama, R. 2022.** Hongos de la madera en plantaciones de aguacate Hass: distribución e impacto productivo. *Forest Pathology*, 52(1), e12789.
- Matheny, P. B., Wang, Z., Binder, M., Curtis, J. M., Lim, Y. W., Nilsson, R. H., ... Hibbett, D. S. 2007.** Contributions of *rpb2* and *tefl* to the phylogeny of mushrooms and allies. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 43, 430–451. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2006.08.024>
- McLaughlin, D. J., & Spatafora, J. W. 2014.** *The Mycota VII: Systematics and evolution* (2nd ed.). Springer.
- McLaughlin, D. J., & Spatafora, J. W. 2015.** *The Mycota VII: Systematics and evolution* (2nd ed., Part B). Springer.
- Melke-Woldegebriel, A. 2025.** Climatic and soil impacts on avocado (*Persea americana* L.) yield and quality in Southern Ethiopia: A comparative study. *Discover Applied Sciences*, 7, 1164. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06665-3>
- Mena-Morales, C., Morales-Rodríguez, C., Vargas-Venegas, I., Villalobos-Quintanilla, B., & Viquez-Muñoz, V. 2022.** Aplicaciones biotecnológicas de la degradación bioquímica de madera por acción de hongos xilófagos: pudrición parda y blanca. *Revista Tecnología en Marcha*, 36(1), 97–105.
- Mendoza-Churape, J., Contreras-Cornejo, H. A., Raya Montaña, Y. A., Cisneros-Zambrano, A., Martínez-González, C. R., Raymundo, T., Valenzuela, R., Vargas-Sandoval, M., Ruiz-Valencia, J. A., & Lara-Chávez, M. B. 2025.** First report of *Trametes hirsuta*, causal agent white rot in avocado trees grown in the state of Michoacán, Mexico. *Pathogens*, 14(6), 532.
- Mendoza-Churape, J., Martínez-González, C. R., Raymundo, T., Valenzuela, R., Apaéz-Barrios, P. P., Vargas-Sandoval, M., & Lara-Chávez, M. B. N. 2023.** Occurrence and pathogenicity of the wood decay fungi *Ganoderma australe* and *G.*

- curtisii* in avocado trees in Michoacán, Mexico. *Nova Hedwigia*, 118(1–2), 133–156. DOI: https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2023/0832
- Mueller, G. M., Schmit, J. P., Leacock, P. R., Buyck, B., Cifuentes, J., Desjardin, D. E., ... Wu, Q. 2007.** Global diversity and distribution of macrofungi. *Biodiversity and Conservation*, 16, 37–48. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9108-8>
- Nakasone, K. K. 1990.** Corticioid fungi of North America. *Mycologia Memoirs*, 14, 1–412.
- Nilsson, R. H., Ryberg, M., Kristiansson, E., Abarenkov, K., Larsson, K.-H., & Kõljalg, U. 2006.** Taxonomic reliability of DNA sequences in public databases: A Fungal Perspective. *PLOS ONE*, 1(1), e59. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000059>
- Osuji, C., Mowobi, G. G., Abubakar, S., & Nweke, O. 2015.** Extraction of Good Quality Genomic DNA from Dry Woody Mushroom Samples for Molecular Analysis: A Case Study of *Ganoderma lucidum*. *Translational Medicine and Biotechnology. Bi-Monthly*, 03, 05. DOI: <https://www.researchgate.net/publication/334634945>
- Parmasto, E., Nilsson, R. H., & Larsson, K.-H. 2004.** Cort base version 2: An up dated nomenclatural data base for corticioid fungi. *PhyloInformatics*, 5, 1–7.
- Parmasto, E. 1968.** *Conspectus systematis Corticiacearum*. Tartu: Institutum Zoologicum et Botanicum.
- Pataký, N. R. 1999.** *Wood rots and decays*. University of Illinois, Department of Crop Sciences. Report on Plant Disease. 642.
- Punja, Z. K. 1985.** The biology, ecology, and control of *Sclerotium rolfsii*. *Annual Review of Phytopathology*, 23, 97–127. Doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.py.23.090185.000525>
- Rambaut, A. 2023.** *FigTree v1.4.5*. <https://github.com/rambaut/figtree>
- Ramírez, H. C. & Cadena, G. 1982.** Estudio biológico de *Corticium salmonicolor* Berk y Br agente causal del Mal rosado del cafeto. *Cenicafé*, 33(2), 40–52.
- Rayner, A. D. M., & Boddy, L. 1988.** *Fungal decomposition of wood: Its biology and ecology*. John Wiley & Sons.
- Red Agrícola. 2025.** *El aguacate mexicano genera más de 300 000 empleos y fortalece la economía rural*. <https://redagricola.com>

- Riebesehl, J., & Langer, E. 2017.** *Hyphodontia* s.l. (Hymenochaetales, Basidiomycota): New combinations and keys. *Mycological Progress*, 16(6), 637–666. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11557-017-1299-8>
- Riebesehl, J., Yurchenko, E., Nakasone, K. K., & Langer, E. 2019.** Phylogenetic and morphological studies in *Xylodon* with the addition of four new species. *MycoKeys*, 47, 97–137. DOI: <https://doi.org/10.3897/mycokeys.47.31130>
- Riska, Budiyaniti, T., Jumjunidang, Hadiati, S., Praptana, R. H., Istianto, M., Nurmansyah, & Idris, H. 2026.** Isolation and characterisation of pathogenic and non-pathogenic fungi associated with avocado plants showing dieback symptoms in Indonesia. *Plant Protection Science*, 62(1), 58–70. DOI: <https://doi.org/10.17221/139/2024-PPS>
- Robert, V., Vu, D., Amor, A. B. H., van de Wiele, N., Brouwer, C., Jabas, B., ... Stalpers, J. A. 2013.** MycoBank gearing up for new horizons. *IMA Fungus*, 4(2), 371–379. DOI: <https://doi.org/10.5598/ima fungus.2013.04.02.16>
- Ronquist, F., Teslenko, M., van der Mark, P., Ayres, D. L., Darling, A., Höhna, S., ... Huelsenbeck, J. P. 2012.** MrBayes 3.2: Efficient Bayesian phylogenetic inference. *Systematic Biology*, 61(3), 539–542. DOI: <https://doi.org/10.1093/sysbio/sys029>
- Ruiz-Gómez, F. J., & Sánchez-García, M. 2020.** Hongos degradadores de la madera en sistemas frutícolas del occidente de México. *Agroproductividad*, 13(5), 75–84.
- Ryvarden, L. 1991.** *Genera of polypores: Nomenclature and taxonomy*. Fungiflora.
- Ryvarden, L., & Gilbertson, R. L. 1993.** *European polypores. Part 1: Abortiporus–Lindtneria*. Fungiflora.
- Schoch, C. L., Seifert, K. A., Huhndorf, S., Robert, V., Spouge, J. L., Levesque, C. A., ... Chen, W. 2012.** Nuclear ribosomal ITS region as a universal DNA barcode for fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(16), 6241–6246. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1117018109>
- Schwarze, F. W. M. R., & Ferner, D. 2013.** *Ganoderma* on trees: Differentiation of species and invasiveness. *Arboricultural Journal*, 27, 59–77.
- Schwarze, F. W. M. R. 2007.** Wood decay under the microscope. *Fungal Biology Reviews*, 21(4), 133–170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2007.09.001>

- Schwarze, F. W. M. R., Engels, J., & Mattheck, C. 2000. *Fungal strategies of wood decay in trees*. Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-57349-2>
- Sebastianes, F. L. S., Maki, C. S., Andreote, F. D., Araújo, W. L., & Pizzirani-Kleiner, A. A. 2007. Genetic variability and vegetative compatibility of *Erythricium salmonicolor*. *Scientia Agricola*, 64(2), 162–168. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000200009>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Estado de Michoacán (SADER Michoacán). 2025. *Michoacán produce el 75 % del aguacate mexicano*. <https://sader.michoacan.gob.mx>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP. 2025. *Panorama agroalimentario del aguacate en México*. <https://www.gob.mx/siap>
- Shaner, G., & Finney, R. E. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology*, 67, 1051–1056. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-67-1051>
- Silvestro, D., & Michalak, I. 2012. RAxMLGUI: A graphical front-end for RAxML. *Organisms Diversity & Evolution*, 12, 335–337. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13127-011-0056-0>
- Sinclair, W. A., & Lyon, H. H. 2005. *Diseases of trees and shrubs* (2nd ed.). Cornell University Press.
- Slippers, B., & Wingfield, M. J. 2007. Botryosphaeriaceae as endophytes and latent pathogens of woody plants: diversity, ecology and impact. *Fungal Biology Reviews*, 21(2–3), 90–106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2007.06.002>
- Swiecki, T.J., & Bernhardt, E.A. 2006. *Guía de campo sobre insectos y enfermedades de los robles de California. Tecnología general*. Representante PSW-GTR-197. Albany, CA: Estación de Investigación del Sudoeste del Pacífico, Servicio Forestal, Departamento de Agricultura de EE. UU. 151p.
- Tapia, F., & Chacón, S. 2015. Registros de hongos corticioides de la familia Meruliaceae (Polyporales, Agaricomycetes) de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Micología*, 41, 5–13. DOI: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802015000100003

- Tapia, F., Chacón, S., & Pérez-Gorjón, S. 2016.** Hongos corticioides (Agaricomycetes) citados de México. *Acta Botanica Mexicana*, 114, 15–50. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512016000100002
- Telleria, M. T., Dueñas, M., Melo, I., & Martín, M. P. 2014.** Morphological and molecular studies in corticioid fungi. *Persoonia*, 33, 101–119.
- Telleria, M. T., Melo, I., Dueñas, M., Salcedo, I., Beltrán-Tejera, E., Rodríguez-Armas, J. L., & Martín, M. P. 2013.** *Sistotremastrum guttuliferum*: A new species from the Macaronesian islands. *Mycological Progress*, 12(4), 687–692. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11557-012-0876-0>
- Toole, E. 1966.** Root rot caused by *Polyporus lucidus*. *Plant Disease Reporter*, 50:945–946.
- United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. (USDA-FAS). 2025.** *Avocado annual: Mexico* (GAIN Report No. MX2025-0017). <https://apps.fas.usda.gov>
- Urbizu, M., Abrego, N., & Salcedo, I. 2013.** Especies corticioides (Basidiomycota) poco conocidas del centro de México. *Zizak*, 9, 21–31.
- Velásquez, A. C., Castroverde, C. D. M., & He, S. Y. 2018.** Plant–pathogen warfare under changing climate conditions. *Current Biology*, 28(10), R619–R634. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.03.054>
- Virágh, M., Merényi, Z., Csernetics, Á., Földi, C., Sahu, N., Liu, X.-B., Hibbett, D. S., & Nagy, L. G. 2022.** Evolutionary morphogenesis of sexual fruiting bodies in Basidiomycota. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 86(1), e00019–21. DOI: <https://doi.org/10.1128/MMBR.00019-21>
- White, T. J., Bruns, T., Lee, S., & Taylor, J. W. 1990.** Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. En M. A. Innis et al. (Eds.), *PCR protocols: A guide to methods and applications* (pp. 315–322). Academic Press.
- Wu, F., Zhou, L. W., Ji, X. H., Tian, X. M., & He, S. H. 2016.** *Grammothele hainanensis* sp. nov. (Polyporales, Basidiomycota) and related species from Hainan, southern China. *Phytotaxa*, 255(2), 160–166. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.255.2.5>

- Wu, F., Zhou, L. W., Vlasák, J., & Dai, Y. C. 2022.** Global diversity and systematics of Hymenochaetaceae with poroid hymenophore. *Fungal Diversity*, 113(1), 1–192. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13225-021-00496-4>
- Yuan, Y., Bian, L. S., Wu, Y. D., Chen, J. J., Wu, F., Liu, H. G., Zeng, G. Y., & Dai, Y. C. 2023.** Species diversity of pathogenic wood-rotting fungi (Agaricomycetes, Basidiomycota) in China. *Mycology*, 14(3), 204–226. DOI: <https://doi.org/10.1080/21501203.2023.2238779>
- Yurchenko, E., & Wu, S. H. 2016.** A key to the species of *Hyphodontia* sensu lato. *MycKeys*, 12, 1–27. DOI: <https://doi.org/10.3897/mycokeys.12.7568>
- Yurchenko, E., Riebesehl, J., & Langer, E. 2017.** Clarification of the *Lyomyces sambuci* complex. *Mycological Progress*, 16(9), 865–876. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11557-017-1321-1>
- Zhang, X.-C., Li, Y.-C., Wang, Y.-Y., Xu, Z., Zhao, C.-L., & Zhou, H.-M. 2024.** *Xylodon asiaticus*, a new species of corticioid fungus from southern China. *Phytotaxa*, 634(1), 1–15. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.634.1.1>
- Zhou, L. W., & Dai, Y. C. 2012.** Wood-inhabiting fungi in southern China 5: New species of *Theleporus* and *Grammothele* (Polyporales, Basidiomycota). *Mycologia*, 104(4), 915–924. DOI: <https://doi.org/10.3852/11-302>
- Zmitrovich, I. V., & Malysheva, V. F. 2018.** A review of the family Polyporaceae and allied taxa. *Mikologiya i Fitopatologiya*, 52(4), 229–256.

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas	
Título del trabajo	DEGRADACIÓN DE LA MADERA DE ÁRBOLES DE <i>Persea americana</i> Mill cv. Hass POR PUDRICIÓN BLANCA CAUSADA POR HONGOS CORTICIOIDES.	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	José Julio Rodríguez Aguilar	1824000b@umich.mx
Director	Dra. Margarita Vargas Sandoval	margarita.vargas@umich.mx
Codirector	Dr. Juan Mendoza Churape	juan.churape@umich.mx
Coordinador del programa	Dra. Rosa Elvira Núñez Anita	mac.ciencias.biologicas@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	No	

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	No	
Traducción a otra lengua	No	
Revisión y corrección de estilo	No	
Análisis de datos	No	
Búsqueda y organización de información	No	
Formateo de las referencias bibliográficas	No	
Generación de contenido multimedia	No	
Otro	Sí	Uso de R script

Datos del solicitante	
Nombre y firma	José Julio Rodríguez Aguilar 
Lugar y fecha	Morelia, Michoacán a 23 de marzo de 2026 

José Julio Rodríguez Aguilar

DEGRADACIÓN DE LA MADERA DE ÁRBOLES DE Persea americana Mill cv. Hass POR PUDRICIÓN BLANCA CAUSADA P...

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega:

imcoaid::31:17:570389613

Fecha de entrega:

23 mar 2026, 12:43 p.m. GMT-6

Fecha de descarga:

23 mar 2026, 12:48 p.m. GMT-6

Nombre del archivo:

DEGRADACIÓN DE LA MADERA DE ÁRBOLES DE Persea americana Mill cv. Hass POR PUDRICIÓN B...pdf

Tamaño del archivo:

37.8 MB

73 páginas

10.459 palabras

64.647 caracteres

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
34 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otra alfabeto.
-  **Texto oculto**
583 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitan distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarla.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.