

ISBN Obra independiente: 978-9930-617-88-5

Escuela de Ingeniería Forestal

MANEJO INTEGRADO DE LA MARCHITEZ DE LA MELINA

TEC | Tecnológico
de Costa Rica



La presente publicación es parte del proyecto PD 849/17 Rev. 2 (F), "Incremento de la competitividad de la reforestación comercial en Costa Rica" financiado por la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT), mediante las aportaciones voluntarias de los gobiernos de Estados Unidos de América y Japón. Para conocer más de la OIMT visitar www.itto.int

MANEJO INTEGRADO DE LA MARCHITEZ DE LA MELINA

DAWA MÉNDEZ ÁLVAREZ
MARIA RODRÍGUEZ SOLÍS
ALEXANDER BERROCAL JIMÉNEZ
YORLENY BADILLA VALVERDE
OLMAN MURILLO GAMBOA

634.97396

M538m

Méndez-Álvarez, Dawa

Manejo integrado de la marchitez de la melina / Dawa Méndez-Álvarez,
María Rodríguez-Solis, Alexander Berrocal-Jiménez, Yorienny Badilla-Valverde,
Olman Murillo-Gamboa. -- 1 edición. -- Cartago, Costa Rica : Instituto Tecnológico
de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, 2025.

22 páginas : ilustraciones, diagramas, fotografías a color.

Referencias bibliográficas.

ISBN: 978-9930-617-88-5

1. Árboles 2. Melina -- Costa Rica 3. Melina -- Cultivo -- Enfermedades y
plagas 4. Control de enfermedades 5. Manejo de plantaciones forestales
6. Enfermedades -- Manejo integrado I. Rodríguez-Solis, María, autora
II. Berrocal-Jiménez, Alexander, autor III. Badilla-Valverde, Yorienny, autora
IV. Murillo-Gamboa, Olman, autor V. Título.

Comité Editorial Escuela de Ingeniería Forestal
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Dr. Luis Acosta

Dr. Ruperto Quesada

Ing. Dorian Carvajal, M.Sc.

MANEJO INTEGRADO DE LA MARCHITEZ DE LA MELINA

Contenidos

1. Antecedentes.....	1
2. Melina en Costa Rica.....	3
3. Agente causal.....	4
4. Descripción signos y síntomas.....	8
5. Monitoreo de la enfermedad.....	11
Evaluación de la enfermedad	11
Umbral económico y tasa de avance de la enfermedad	11
Muestreo de la plantación.....	13
Incidencia	14
Índice Promedio de Severidad (IPS).....	15
Determinación de árboles tolerantes a la enfermedad	17
6. Manejo integrado de la enfermedad.....	19
Estrategias preventivas	19
Estrategias de contención	21
Referencias bibliográficas.....	22

1. Antecedentes

La *Gmelina arborea* (melina), es una especie forestal originaria del sudeste asiático en países como India, Myanmar y Sri Lanka (Dvorak, 2004; Wingfield & Robison, 2004). Es un árbol que se ha cultivado ampliamente en plantaciones debido a su rápida tasa de crecimiento, adaptabilidad a distintas condiciones ambientales y a su alta demanda en el mercado (Wingfield & Robison, 2004; Méndez-Álvarez et al., 2020; Pramod et al., 2022). Esta especie presenta una excelente capacidad de propagación clonal y un amplio uso de su madera, lo que la ha convertido en una de las principales especies arbóreas plantadas comercialmente en países tropicales (Méndez-Álvarez et al., 2021; Pramod et al., 2022; Wingfield & Robinson, 2004). El avance en el desarrollo de nuevas técnicas de plantación, de manejo y de los programas de mejoramiento genético, han permitido que hoy día se cultive de manera clonal en ciclos de cosecha entre los 4 a 6 años, dependiendo de la región del país, con una alta productividad que podría alcanzar los 200 m³/ha de 5 a 6 años (Hernández et al., 2021a, 2021b; Murillo et al., 2025).

Sin embargo, esta especie no está exenta de problemas fitosanitarios (Dvorak, 2004; Wingfield & Robison, 2004; Arguedas-Gamboa, 2012, Salas et al. 2016b). En cuanto a las enfermedades y plagas que se han registrado en la melina, se encuentran hongos como *Colletotrichum* spp., *Pseudocercospora ranjita* y *Mycosphaerella* spp. que causan manchas en las hojas (Dvorak, 2004; Arguedas-Gamboa, 2012). En la década de 1980 en Asia se reportó varios hongos responsables de provocar enfermedades en melina como *Griphospaeria gmelinae*, *Thyronectria pseudotrichia* y *Phomopsis gmelinae*, mientras que en los años 90's se reportó *Lasiodiplodia theobromae* y *Erythricium salmonicolor*. En Brasil se registró *Ceratocystis fimbriata* (Dvorak, 2004, Muchovej, Albuquerque & Ribeiro, 1978), patógeno que se ha convertido en uno de los más agresivos y dañinos para melina en la actualidad.

Existen otros patógenos que se ha reportado como causantes de daño a nivel de raíces, tales como *Pseudophaeolus baudonii* y *Armillaria mellea* sensu lato (Dvorak, 2004). En cuanto a los daños a nivel de pudrición se ha reportado en melina los hongos *Trametes straminea*, *Fomes roseus* y *Lentinus squarrosulus* (Dvorak, 2004; Pramod et al., 2022). Además,

se menciona ciertos insectos que causan daño como el *Tingis beesoni*, *Epiblema fulvilinea*, *Calopepla leayana*, *Xyleborus fornicatus*, *Sahyadrassus malabaricus*, *Coptotermes curvignathus*, *Nasutitermes costalis*. En su mayoría, estos daños han sido reportados en Asia, aunque también en Latinoamérica (Dvorak, 2004; Arguedas-Gamboa, 2012). En Costa Rica, además, se han reportado daños significativos causados por el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el cual ramonea la corteza y raspa con sus astas produciendo heridas en los árboles que tienen entre 1 y 18 meses de edad.

2. Melina en Costa Rica

En Costa Rica la melina ha sido la segunda especie arbórea más plantada con unas 18.000 ha, según el último censo agrícola del país (INEC 2015) (Figura 1). Introducida en Costa Rica a mediados de los años 60's como un ensayo de procedencias en Manila de Siquirres (Lega 1988), desde donde se distribuyó hacia todas las zonas bajas del país (Hernández et al., 2021a). Esta especie ha sido fundamental para impulsar la industria maderera costarricense, ya que su ciclo de crecimiento rápido permite la producción de madera a muy corto plazo (Murillo et al., 2025).

En la actualidad, la melina se planta a escala operativa basada en clones élite en su mayoría (Salas et al., 2016a, Hernández et al., 2021b, Murillo et al., 2025). Una de las principales enfermedades, conocida como 'pudrición del tronco', limita el crecimiento y desarrollo de los árboles (Murillo et al., 2016). Se ha reportado que los síntomas de la enfermedad pueden aparecer desde los 7 meses de edad y causar la pérdida de hasta un 60% de los árboles en la plantación (Salas et al., 2016b, Arguedas-Gamboa et al., 2018). En 2020 Méndez-Álvarez y colaboradores logran identificar al *Ceratocystis fimbriata* como el agente causal de esta enfermedad, actualmente denominada la 'marchitez de la melina'. Lo que ha facilitado la determinación de clones de alto rendimiento con una tolerancia alta al patógeno (Salas et al., 2016a, Méndez et al., 2023). Como resultado se ha logrado plantar de nuevo la especie, de manera segura y se ha reducido el riesgo y el impacto de la enfermedad en el país.



Figura 1. Plantación clonal de *Gmelina arborea* de 3,5 años, El Plomo, Pocosol de San Carlos, Costa Rica.

3. Agente causal

Las especies dentro del género *Ceratocystis* se clasifican con base en su diversidad genética y rango geográfico, donde *C. fimbriata* se ubica en el clado latinoamericano (Argôlo Magalhães et al., 2016; Méndez-Álvarez et al., 2020) (Fig. 2). Doce años de investigación han permitido comprender mejor al patógeno, su sintomatología y modo de acción, lo que ha motivado el avance del manejo integrado de la enfermedad. El agente causal de la enfermedad es el hongo *Ceratocystis fimbriata* sensu lato (Méndez-Álvarez et al., 2020), que es un fitopatógeno necrótofo (se alimenta de células muertas del hospedero), que predomina en el suelo y ha sido identificado como uno de los principales agentes causales de la obstrucción vascular que conlleva a la marchitez del árbol y afecta especies leñosas y frutales (Dvorak, 2004; Belezaca-Pinargote et al., 2022; Harrington et al., 2014). El *C. fimbriata* invade el sistema vascular de los árboles, lo que produce un bloqueo al transporte de agua y nutrientes mediante un estrangulamiento, que provoca síntomas como supuración en el fuste, cancros (muerte de los tejidos corticales), exudaciones negras y con mal olor, aparición de rebrotos basales, marchitez y pérdida del follaje, manchas en la madera y decaimiento general hasta provocar la muerte del árbol.

Este patógeno se registró por primera vez en Jari (Estado de Pará, Brasil), donde las pruebas de patogenicidad, descritas por Muchovej y colaboradores (1978) demostraron su capacidad para matar árboles. *C. fimbriata* infecta al árbol al ingresar a través de heridas en la corteza o en las raíces, poda de ramas o por daño mecánico en el tronco, lo que lo convierte en la principal amenaza significativa para las plantaciones de melina (Dvorak, 2004). Su distribución actual abarca regiones tropicales, subtropicales y templadas de todo el mundo (Holland *et al.*, 2019).

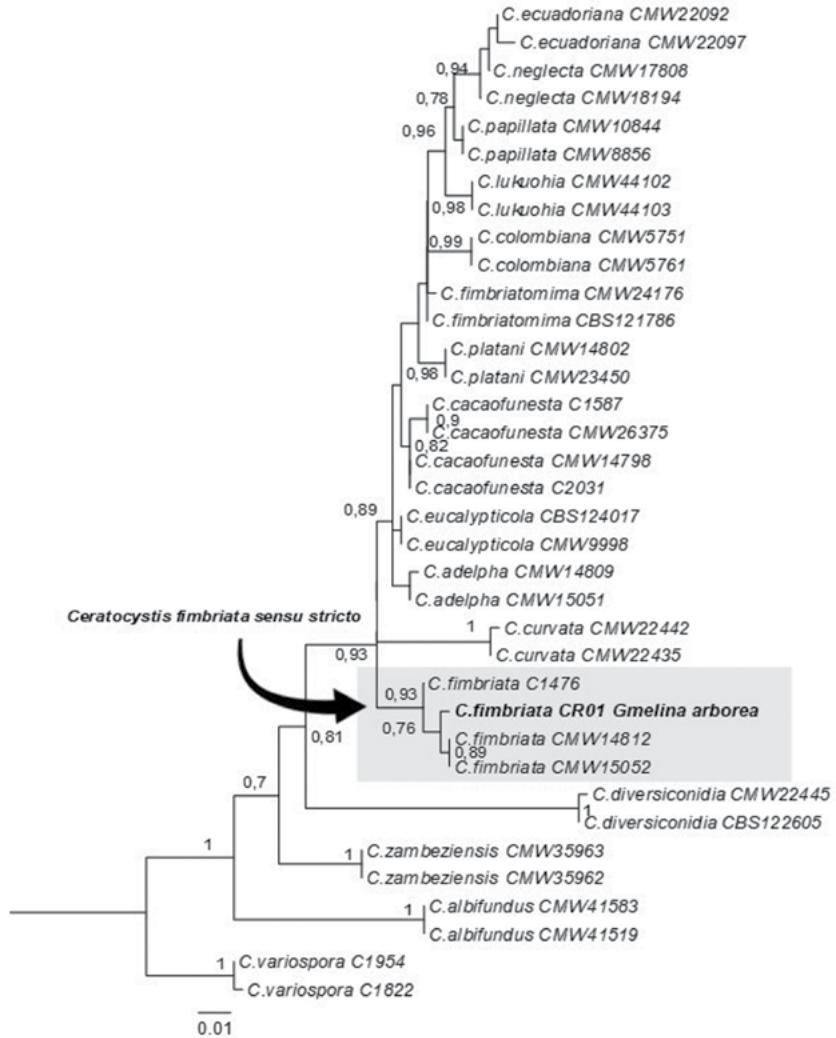


Figura 2. Árbol filogenético basado en las secuencias de ADNr ITS de aislados representativos del clado latinoamericano de *Ceratocystis* (LAC), generado por el método de máxima verosimilitud y el modelo de Kimura de 2 parámetros (Méndez et al., 2020). El porcentaje de coincidencia en las ramas indica los taxones mejor asociados o agrupados por similitud genética.

El hongo *C. fimbriata* ha sido identificado como responsable de la infección en al menos 31 especies de 14 familias de importancia económica (Holland et al., 2019; Valdetaro et al., 2019). Se ha reportado provocando infección en cultivos como café, mango y cacao (Holland et al., 2019; Valdetaro et al., 2019), así como *Gmelina arborea*, *Populus* spp., *Tectona grandis* y *Eucalyptus* spp. (Ferreira et al., 2010; Valdetaro et al., 2019).

En los trabajos de resistencia genética a enfermedades, es necesario investigar y evaluar la variación geográfica y genética no solo del árbol (melina en este caso), sino que también del patógeno. Es decir, se va a encontrar en el patógeno variación geográfica y genética, que podría resultar en la existencia de cepas de mayor patogenicidad. Esto obliga a investigar a profundidad al patógeno para determinar cuál de sus variantes es la de mayor agresividad o patogenicidad, para que pueda ser posteriormente utilizado en las evaluaciones de resistencia genética. En los estudios de resistencia genética a enfermedades se involucra tanto la variación genética del patógeno, como del hospedero (árbol de melina en esta ocasión), lo que requiere de experticia en ambas disciplinas científicas. Como resultado del estudio de Méndez y colaboradores, se muestra en el Cuadro 1 la identificación de siete cepas o aislados de *Ceratocystis* en árboles enfermos de melina, de distintas regiones del país.

Cuadro 1. Cepas o aislados de *Ceratocystis* colectados en plantaciones de melina en distintos sitios del país, identificados taxonómicamente en el Centro de Protección de Cultivos de la Facultad de Ciencias Agroalimentarias de la Universidad de Costa Rica (Méndez et al., 2025)

Código aislado	Cantón	Provincia	Región	Especie
CIF 001	Guácimo	Limón	Caribe	<i>C. fimbriata</i>
CIF 002	San Carlos	Alajuela	Zona Norte	<i>C. mangivora</i>
CIF 003	Los Chiles	Alajuela	Zona Norte	<i>C. fimbriatomima</i>
CIF 004	Pital	Alajuela	Zona Norte	<i>C. fimbriatomima</i>
CIF 005	Pococí	Limón	Caribe	<i>C. fimbriata</i>
CIF 006	Pérez Zeledón	San José	Pacífico Central	<i>C. fimbriata</i>
CIF 012	Nicoya	Guanacaste	Pacífico Norte	<i>C. fimbriata</i>

Para el aislamiento de *C. fimbriata*, se recolectaron muestras de árboles que mostraron síntomas de marchitez, necrosis del tejido vascular y exudaciones (gomosis) en el tallo (Figura 3). Los árboles se cortaron en discos de 1 pulgada de grosor, los cuales fueron llevados al laboratorio de patología forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Se tomaron fragmentos de tejido sano y afectado, los cuales se colocaron entre dos discos de zanahoria dentro de una caja plástica estéril y se incubó a 25 °C durante 8 días (Figura 3). Las masas de ascósporas formadas sobre los peritecios en la zanahoria se transfirieron a cajas Petri con medio de cultivo agar extracto de malta y levadura (MEYA), para su purificación, almacenamiento y uso en ensayos de patogenicidad.



Figura 3. Aislamiento de *C. fimbriata* a partir de un árbol enfermo de *G. arborea* por medio del método de sándwich o dos láminas de zanahoria.

4. Descripción signos y síntomas

Signos

C. fimbriata produce peritecios sobre la superficie de los tejidos afectados. Estos son pequeños cuerpos fructíferos negros con forma de pera que contienen ascosporas (esporas sexuales) y sobre los mismos, se pueden observar gotas conidiales de color amarillo que contienen las conidios asexuales o sistema reproductivo del hongo. También, genera un micelio (tejido vegetativo subterráneo) de color gris oscuro y se observa como una capa de algodón en las áreas donde la corteza se desprendió o donde hay tejido muerto. Este micelio en medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA), tiene un olor característico a banano (Fig. 4).

Síntomas

La enfermedad muestra un cuadro sintomatológico que puede avanzar en pocos días. Al inicio de la infección se observa marchitez y disminución del área foliar, pueden aparecer exudaciones negras principalmente en heridas y puntos de poda. Conforme avanzan los síntomas se observa defoliación progresiva hasta que el árbol pierde completamente sus hojas. Aparecen brotes epicórmicos en los primeros 2 a 4 m de fuste, cancros o lesiones con coloración negruzca en la corteza y finalmente el árbol muere y se seca en su totalidad.

Si se tumba el árbol afectado se puede observar una coloración oscura en la madera de forma en estrella, con mal olor y exudados de compuestos fenólicos, que atraen insectos descortezadores, principalmente de la familia Scolytidae.



Figura 4. Signos producidos por *Ceratocystis fimbriata* en la madera de *G. arborea*: peritecios (estructura reproductiva que alberga esporas) y micelio o estructura vegetativa de soporte. El círculo rojo encierra una gota con conidios, o estructuras de reproducción vegetativa del hongo.

En la Figura 5 se observa la sintomatología progresiva causada por *C. fimbriata* en árboles de melina.

Las exudaciones o lloraderos de coloración oscura pueden aparecer de forma natural por efecto de la poda. Si no está acompañado de síntomas como los descritos anteriormente no son motivo de preocupación.



Figura 5. Sintomatología del progreso de la marchitez de la melina causada por *Ceratocystis fimbriata*.

5. Monitoreo de la enfermedad

Evaluación de la enfermedad

La evaluación de enfermedades en el campo se hace con los siguientes objetivos:

- Caracterizar el comportamiento y la sintomatología de la enfermedad y determinar su tasa de avance o progreso.
- Determinar la eficacia de los métodos de control aplicados.
- Caracterizar la resistencia, tolerancia o susceptibilidad de los genotipos plantados.
- Estimar las pérdidas económicas causadas por efecto de los patógenos que producen la enfermedad.

Umbral económico y tasa de avance de la enfermedad

El umbral económico es el límite al que puede llegar la incidencia de la enfermedad, antes de que el costo de control y la pérdida colectiva de madera, reduzcan los indicadores financieros de la plantación. En el caso del cultivo de melina, hoy día con un ciclo muy corto de producción que oscila entre 4 y 6 años, una pérdida superior al 15% de los árboles iniciales puede resultar en un impacto económico importante, que compromete el cumplimiento de los objetivos de la inversión. Debe también recordarse, que para esta enfermedad no se conoce un procedimiento de manejo curativo. Es decir, los árboles que manifiestan la enfermedad llegan a morir a una tasa de avance diferenciada por su grado de tolerancia natural, tal y como fue reportado (Murillo et al., 2016). Es importante también mencionar que algunos árboles logran continuar creciendo a pesar de estar internamente afectados por el patógeno. Sin mostrar síntomas visibles ni en tronco ni en follaje, pero su madera se puede manchar parcialmente en los sectores donde el hongo obstruyó el paso del flujo interno vascular. Gracias a su vigor el árbol sobrevive y continúa creciendo con la enfermedad, pero podría afectar el uso final de esta madera y sus productos. En el caso de la tarima se desconoce que el mercado haya emitido algún tipo de rechazo.

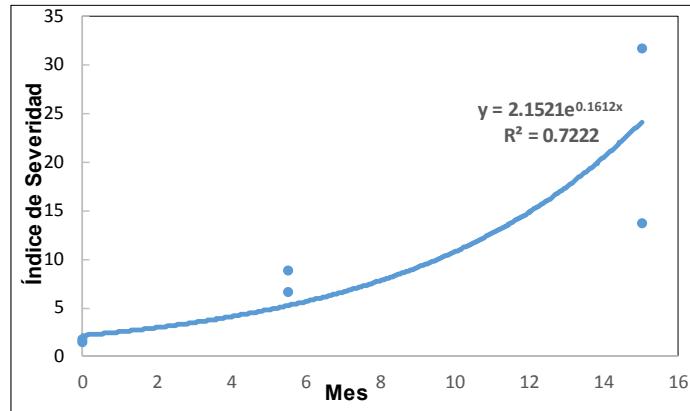


Figura 6. Tasa de avance de la marchitez de la melina en función del grado de severidad en árboles enfermos. A mayor grado de severidad, la enfermedad progresa de manera exponencial (Murillo et al. 2016)

En el estudio de Murillo y colaboradores (2016) se determinó la tasa de avance de la severidad de la enfermedad en plantaciones clonales mixtas, en época cuando se desconocía sobre la existencia de genotipos (clones) tolerantes (Figura 6).

El estudio determinó que en plantaciones de 2 a 4 años en el Pacífico Sur de Costa Rica, se registró un patrón de mayor incidencia y severidad de la enfermedad en los árboles de menor clase diamétrica y de posición sociológica suprimido o intermedio. El patrón de incidencia siguió una función exponencial de mayor velocidad de avance de la enfermedad, en función del grado de severidad de los árboles (Figura 6). En términos cuantitativos, en una plantación de 2 años con árboles susceptibles podría registrarse una tasa de aumento de la incidencia en un 3,5% mensual o un 40% anual.

Muestreo de la plantación

Para determinar la incidencia y severidad de la enfermedad en la plantación, se deberá realizar un procedimiento de muestreo, que puede efectuarse de varias maneras.

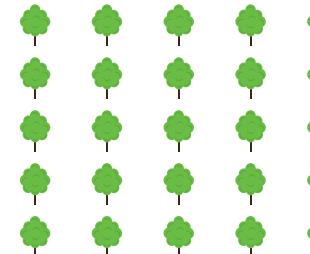


Figura 7. Parcela de muestreo de 500 m² y 25 árboles para la evaluación de la enfermedad en plantaciones de melina

a) El muestreo se puede realizar con parcelas temporales rectangulares como se muestra en la Figura 7. El método consiste en establecer una parcela de 500 m² cada dos hectáreas a partir de algún método de inicio aleatorio. Se inicia localizando al árbol inicial que será uno de los vértices de la parcela. Para este inicio se elige un número aleatorio del 0 al 9, por ejemplo #7, que será el número del árbol próximo para localizar y establecer ahí la primera esquina de la parcela. Desde este vértice se continúa hasta enmarcar un rectángulo de 5 x 5 árboles (25 individuos posibles). Las siguientes parcelas se ubicarán cada 150 m de distancia.

b) El método de árboles individuales para lotes pequeños se basa en la evaluación de un 3 a un 4% de los árboles en pie. Para esto se inicia de manera aleatoria y luego se continúa sistemáticamente cada 25 árboles vivos, hasta encontrar al próximo árbol para evaluar y continuar hasta recorrer toda la plantación. El inicio aleatorio es similar al descrito para la ubicación de las parcelas. Se elige un número aleatorio del 0 al 9 y se localiza al árbol correspondiente, que dará inicio al muestreo. Este primer árbol no se evalúa, sino que servirá para iniciar el conteo de los 25 árboles. Al final del recorrido se deberá contabilizar cuántos árboles no fueron evaluados o saldo.

Una vez obtenida la muestra se determina el Porcentaje de Incidencia y el Índice de Severidad de los árboles enfermos.

Incidencia

Corresponde al número o proporción de árboles enfermos con respecto al total de árboles evaluados, que se determina como se muestra a continuación (Arauz 1998, Couto et al. 2007):

$$I\% = \frac{\text{Total de árboles enfermos}}{\text{Total de árboles muestreados}} \times 100$$

Al realizar la evaluación de incidencia (Cuadro 2) se realiza una clasificación binaria donde 0 corresponde a los árboles sanos o libres de síntomas y 1 corresponde a los árboles con algún síntoma de la enfermedad.

Si por ejemplo en una parcela de 25 árboles originales hubo una mortalidad de 2 individuos quedando 23 vivos y se registró una incidencia de $0 = 15$ y $n1 = 8$ (enfermos con síntomas visibles), se obtiene entonces que la Incidencia será de $\frac{8}{23} \times 100 = 34,7\%$ en la plantación.

Cuadro 2. Evaluación de incidencia y severidad de la marchitez de la melina en plantación

Árbol	DAP (cm)	Incidencia 0 a 1	Severidad ABCD	Observaciones
1		0		
2		0		
3		1	A	
4		1	C	
5		1	B	
.....		

Índice Promedio de Severidad (IPS)

El Índice Promedio de Severidad (IPS) permite estimar el grado de daño o síntoma causado por una plaga en una población de árboles. Este índice se calcula a partir de la frecuencia de árboles observados en cada categoría de severidad y se expresa como porcentaje.

La fórmula general es la siguiente (Arauz 1998, Couto et al. 2007):

$$IPS\% = \frac{\sum(\text{Grado de categoría} \times \text{Frecuencia})}{\text{Número de árboles enfermos}} \times 100$$

Donde:

Grado de categoría: valor numérico asignado a cada nivel de severidad (Cuadro 3).

Frecuencia: número de árboles que presentan esa categoría de daño.

Número total de árboles enfermos: suma de todas las frecuencias.

Para evaluar el IPS (%), se desarrolla una escala que clasifica el avance de la enfermedad en varias categorías.

En el caso de la enfermedad producida por *C. fimbriata* en *G. arborea*, se propuso la siguiente escala de evaluación de acuerdo con la aparición y avance de los síntomas.

Cuadro 3. Síntomas del avance de la severidad de la marchitez de la melina

Categoría de Severidad (grado)	Síntomas
A (0.125)	Inicios de marchitez foliar; el fuste puede tener pequeñas heridas necrosadas y con leve exudación negruzca generalmente en los puntos de podas y puede iniciar la aparición de rebrotes. Puede observarse una pérdida de follaje en las puntas de las ramas, hasta alcanzar un 33% del área foliar total. No todos los síntomas se expresan en esta categoría.
B (0.375)	El árbol está visiblemente afectado, en el follaje presenta: marchitez, menor tamaño de las hojas y pérdida en más de un 67% del área foliar. Puede haber lesiones tipo cancro (con abultamiento). Muchas veces exudaciones y aparición de rebrotes en el fuste.
C (0.625)	Árbol con ausencia total de follaje; hay pérdida y desprendimiento evidente de corteza por el cancro y generalmente con presencia de rebrotes aún activos.
D (0.875)	Árbol completamente seco y podrido.

Fuente: Arguedas et al. 2018, modificado de Salas et al. (2016b).

Siguiendo el ejemplo anterior, en una parcela se evaluaron 8 árboles enfermos, distribuidos en las siguientes categorías:

Categoría	Número de árboles (n)	Grado asignado	Producto (n × grado)
A	4	0,125	0,500
B	2	0,375	0,750
C	1	0,625	0,625
D	1	0,875	0,875
Total	8		2,75

$$\text{IPS} = \left(\frac{2,75}{8} \right) * 100 = 34,7\%$$

El valor obtenido (34,4%) indica que, en promedio, la sintomatología causada por la enfermedad en los árboles afectados, corresponde a una severidad alta dentro de la escala propuesta.

Determinación de árboles tolerantes a la enfermedad

El uso de genotipos (clones) tolerantes a la enfermedad, ha sido por ahora la estrategia más eficaz para la prevención de la aparición de la marchitez en la melina. Más de doce años de investigación han permitido generar un amplio conocimiento de la enfermedad y su manejo. Como parte de los programas de mejoramiento genético de melina en Costa Rica (Salas et al., 2016a, Hernández et al., 2021a, Méndez et al., 2021, Méndez et al., 2023, Murillo et al., 2016), se ha adaptado y desarrollado técnicas y procedimientos para determinar la existencia de la tolerancia genética a la enfermedad. Más de 100 genotipos de la Cooperativa de mejoramiento genético forestal (GENFORES) han sido evaluados en los últimos años.

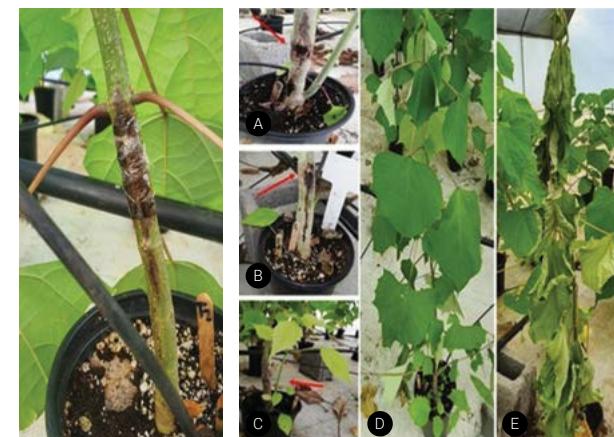


Figura 8. Pruebas de tolerancia al *C. fimbriata* en clones élite de melina de GENFORES a los 90 días de evaluación en ambiente controlado (Campus del Instituto Tecnológico de Costa Rica en San Carlos, Zona Norte de Costa Rica). Inoculación inicial (izquierda). **a)** cancro, **b)** lloradero, **c)** rebrote basal cerca de la incisión inicial **d)** marchitez, **e)** muerte y marchitez (Méndez et al. 2023).

Como parte de los esfuerzos se logró crear una capacidad humana e infraestructura (laboratorios e invernaderos) permanente en la sección de Sanidad Forestal de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, que ha permitido continuar con el refinamiento e innovación en nuevas técnicas y procedimientos. Los protocolos de evaluación de la tolerancia involucran el registro de observaciones de la

sintomatología presentada por la planta (Figura 8), así como en la extensión del patógeno a lo largo del tallo en ambas direcciones a partir de la herida inicial (Figura 9). Como parte del protocolo se revisa el cumplimiento de los postulados de Koch, por lo que al final de la evaluación se verifica la presencia del *C. fimbriata* en los tejidos enfermos.

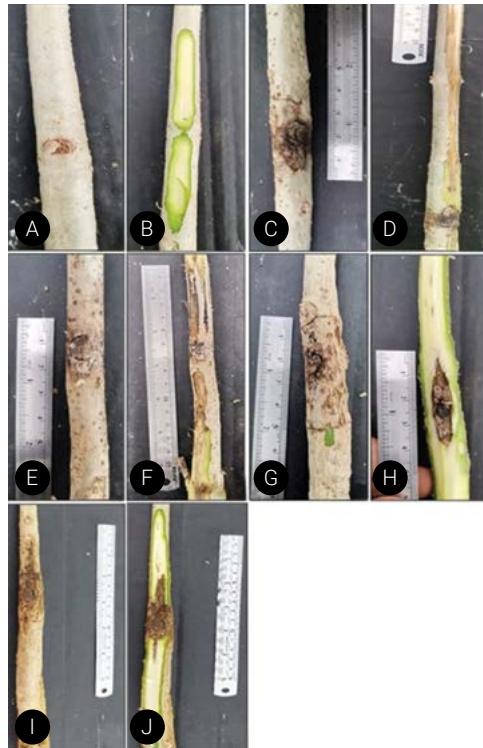


Figura 9. Necrosis en el tejido vascular causado por cinco aislados de *Ceratocystis* en un clon élite y altamente tolerante de melina, a los 90 días de evaluación en el complejo de producción clonal forestal, Campus del Instituto Tecnológico de Costa Rica en San Carlos, Zona Norte de Costa Rica (Méndez et al., 2025). Puede observarse que la infección no avanzó en forma importante, desde el sitio de incisión para la la inoculación del patógeno. a y b) control, c y d) inoculación con aislado CIF 001 (*C. fimbriata*); e y f) inoculación con aislado CIF 002 (*C. mangivora*), g y h) inoculación con aislado CIF 003 (*C. fimbriatomima*), i y j) inoculación con aislado CIF 004 (*C. fimbriatomima*).

6. Manejo integrado de la enfermedad

Estrategias preventivas

Debe tenerse presente que, en una estrategia de manejo integrado de una enfermedad como la marchitez de la melina, el mayor esfuerzo debe ser en la prevención (Arguedas et al., 2018). Una vez que la enfermedad logre infectar árboles e iniciar su expansión en la plantación, los árboles afectados morirán casi irremediablemente. Los esfuerzos preventivos buscarán evitar el ingreso y desarrollo de los patógenos en la plantación.

Vivero

- Control biológico (biocontroladores preventivos como *Trichoderma* spp.)
- Control fitogenético: selección y uso de genotipos tolerantes o resistentes a la enfermedad. Se ha observado que la incidencia/presencia de árboles afectados puede reducirse hasta en menos del 10% en la mayoría de los casos.
- Producción de plantas sanas, robustas, bien nutridas y con un sistema radical vigoroso.

Plantación

- Control silvicultural: preparación del sitio para eliminar o reducir factores limitantes como mal drenaje, compactación, baja profundidad efectiva de suelo, acidez alta, baja fertilidad, entre otros.
- Poda oportuna. La poda de formación y la de eliminación de ramas bajas se deberá realizar en los primeros meses de vida del árbol (mes 3, mes 6 y mes 9) para evitar que se desarrollen ramas muy gruesas, que podrían dejar una herida mayor (Murillo et al., 2025). Es preferible que se realice en época seca y que se aplique un sellado de la herida (Figura 10). Una posible hipótesis con relación al sellado de la herida se refiere a que el árbol libera fenoles cuando ha sido podado. La investigación en marcha ha determinado que estos aromas atraen

varias especies de escarabajos descortezadores (Familia Scolytidae), que podrían ser una de las vías de infección del *Ceratocystis* (insectos vectores del patógeno). El uso de la herramienta rabo de zorro no es recomendable por el riesgo de provocar desgarres o daños en el fuste. Es preferible utilizar una herramienta de corte con filo o una motosierra pequeña. La poda no se debe realizar en árboles con los síntomas y la herramienta deberá ser permanentemente desinfectada (Figura 10).



Figura 10. Izquierda, sellado de la herida después de realizada la poda. Derecha, método de desinfección de la herramienta con yodo después de podar cada árbol.

- **Control de malezas.** El principio conocido es que las malezas pueden ser hospederos de patógenos e insectos dañinos, de donde podrían aprovechar la oportunidad para infectar al árbol de melina. El otro principio es que malezas como las gramíneas o pastos producen un alto estrés y pérdida de crecimiento de los árboles de melina, producto de su mayor capacidad de competencia por recursos agua y nutrientes. Se ha observado empíricamente una mayor incidencia de la enfermedad en sitios con pastos. Por tanto, el control de malezas es imprescindible en plantaciones de melina. Deberá diseñarse una programación sistemática del control de malezas cada 2 meses al inicio durante el primer año y parte del segundo año.

- **Raleo oportuno** para reducir la competencia y el estrés de los árboles. La melina es un cultivo de ciclo corto, sin embargo, es posible incluir un primer raleo comercial a temprana edad (aproximadamente al año 3), que buscará eliminar la competencia por luz, agua, nutrientes, entre otros. El raleo permitirá disminuir factores de riesgo y estrés en los árboles remanentes.
- **Fumigación preventiva** anual con insecticida. Se ha observado empíricamente que la enfermedad podría ingresar al árbol por medio de la presencia de un descortezador de la familia Scolytidae. Este insecto barrena el fuste, crea galerías donde oviposita y en el proceso, se especula que podría ingresar consigo partes del hongo *C. fimbriata*. A pesar de que no se ha comprobado esta simbiosis como posible vía de ingreso de la enfermedad, se ha observado empíricamente en plantaciones en sitios marginales, que con la atomización anual o bianual con insecticida se logra una incidencia casi nula de la enfermedad. Futuras investigaciones podrán corroborar esta hipótesis.
- **Encalado y fertilizado.** La investigación en melina viene avanzando hacia un modelo de manejo intensivo en temas de control de malezas, control de acidez y con aplicaciones de fertilizante cada año. El objetivo es el de eliminar factores limitantes para su crecimiento y desarrollo, que a la vez reduce el estrés de los árboles y estimula su vigor.

Estrategias de contención

A pesar de que no se ha encontrado la cura a esta enfermedad, la estrategia será la de contener el avance de la enfermedad en la medida de lo posible, con la aplicación de un buen programa silvícola. Como principio se debe eliminar aquellos factores que pudieron provocar el estrés a la plantación. La meta debe ser lograr que la mayoría de los árboles remanentes logren continuar con buen crecimiento, para que alcancen un diámetro comercial mayor. Algunos árboles continuarán enfermando y se deberá mantener un buen programa de vigilancia para su rápida eliminación y saneamiento.

- Raleos sanitarios y manejo de residuos afectados “Eliminar los árboles enfermos y aplicar fungicida y cal en el sitio”.

- Control de malezas, principalmente gramíneas (pastos).
- En la medida de lo posible y de disponibilidad de recursos, en sitios con problemas de acidez en el suelo o baja fertilidad natural, aplicar cal para corregir la acidez. A los 30-40 días aplicar fertilización completa.
- Poda: realizar la poda a la menor edad posible para lograr un daño menor en el fuste, cicatrización más oportuna, ramas de menor grosor entre otros. Desinfectar la herramienta de poda cada vez que se empiece a podar un árbol nuevo. No podar árboles enfermos. Se ha observado que la técnica de la poda y la herramienta deben evitar que haya rasgadura en el fuste. La herramienta cortante conocida como rabo de zorro debe ser evitada. Es preferible el uso de herramientas de corte con filo o también con una motosierra pequeña.

Referencias bibliográficas

Arauz, F. (1998). Fitopatología: un análisis agroecológico. San José, Costa Rica, EUCR. 469 p.

Arguedas, M., Rodríguez-Solís, M., Moya, R., & Berrocal, A. (2018). *Gmelina arborea* "death disease" in fast-growth plantations: Effects of soil and climatic conditions on severity and incidence and its implications for wood quality. Forest Systems, 27(1), 1–13. <https://doi.org/10.5424/fs/2018271-12236>

Arguedas-Gamboa, M. (2012). Problemas fitosanitarios de la melina (*Gmelina arborea* (Roxb)) en Costa Rica. Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 1(2), 75–83.

Argôlo Magalhães, D. M., Martins Newman Luz, E. D., Vanderlei Lopes, U., Rocha Niella, A. R., & Oliveira Damaceno, V. (2016). Leaf disc method for screening Ceratocystis wilt resistance in cacao. Tropical Plant Pathology, 41, 155-161. <https://doi.org/10.1007/s40858-016-0081-9>

Belezaca-Pinargote, C. E., Solano-Apuntes, E. H., & Díaz-Navarrete, P. E. (2022). *Ceratocystis Fimbriata*: A risk for the *Gmelina arborea* Roxb. (Melina) forests in Ecuador. International Journal of Health Sciences, 6(S3), 11695–11710. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS3.8811>

Couto, A; Alves, F; Gonçalves, R, Coelho, R. (2007). Isolamento de Fungus Fitopatoênicos. In Métodos em Fitopatologia. Eds. A. Couto and R. Gonçalves. Viçosa, BR, Universidade de Viçosa. p. 53-91.

Dvorak, W. S. (2004). Worldview of *Gmelina arborea*: Opportunities and challenges. New Forests, 28(2/3), 111–126. <https://doi.org/10.1023/b:nefo.0000040940.32574.22>

Ferreira, E. M., Harrington, T. C., Thorpe, D. J., & Alfenas, A. C. (2010). Genetic diversity and interfertility among highly differentiated populations of *Ceratocystis fimbriata* in Brazil. Plant Pathology, 59(4), 721-735. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02275.x>

Harrington, T. C., Kazmi, M. R., Al-Sadi, A. M., & Ismail, S. I. (2014). Intraspecific and intragenomic variability of ITS rDNA sequences reveals taxonomic problems in *Ceratocystis fimbriata* sensu stricto. Mycologia, 106(2), 224-242. <https://doi.org/10.3852/13-189>

Hernández, W., Badilla, Y., Murillo, O. (2021a). Selección temprana en ensayos clonales de melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en Costa Rica. Agronomía Mesoamericana. Volumen 32(1):93-106.

Hernández, W., Badilla, Y., Murillo, O. (2021b). Estimación de parámetros genéticos de *Gmelina arborea* Roxb. (melina) en el Caribe de Costa Rica. Uniciencia Vol. 35(1) 352-366.

Holland, L. A., Lawrence, D. P., Nouri, M. T., Travadon, R., Harrington, T. C., & Trouillas, F. P. (2019). Taxonomic revision and multi-locus phylogeny of the North American clade of *Ceratocystis*. Fungal Systematics and Evolution, 3(1), 135-156. <https://doi.org/10.3114/fuse.2019.03.07>

INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario. Resultados Generales 2014. San José, Costa Rica. 147 p.

Lega, F. 1988. Estudio de la forma de *Gmelina arborea* (Roxb.): análisis de las plantaciones de Manila, Siquirres. Tesis (M. Sc), CATIE/ Universidad de Costa Rica, Turrialba, Costa Rica. 164p.

Méndez-Álvarez D, de Souza Cândido T, Couto Alfenas A, Murillo O, Badilla Y, Ferreira Alfenas R. (2020). First report of *Ceratocystis fimbriata* causing wilt on *Gmelina arborea* in Costa Rica. For. Path. 50(5) doi/10.1111/efp.12628.

Méndez, D., Murillo, O., Badilla, Y. Hernández, W. (2021). Genetic tolerance to *Ceratocystis* wilt in melina (*Gmelina arborea* Roxb.). Silvae Genetica (70): 195 – 204.

Manejo integrado de la **marchitez de la melina**

- Méndez, D., Badilla, Y., Murillo, O., Ferreira, R. (2023). Genetic resistance to *Ceratocystis fimbriata* in elite genotypes of *Gmelina arborea*. *Agronom. Mesoamericana* Volumen 34(3): doi.org/10.15517/am.2023.52968
- Méndez, D., Rodríguez, M., Badilla, Y., Murillo, O., Berrocal, A. (2025) Pathogenicity analysis on *Ceratocystis* strains isolated from *Gmelina arborea* in Costa Rica. *J. Tropical Forestry* 37(3): July 2025
- Muchovej, J. J., Albuquerque, F. C., & Ribeiro, G. T. (1978). *Gmelina arborea* a new host of *Ceratocystis fimbriata*. *Plant Disease Reporter*, 62(8), 717–719.
- Murillo, O., Salas, A., Murillo, R., & Ávila-Arias, C. (2016). Tasa de avance de la pudrición del tronco en melina *Gmelina arborea* Roxb. y posibilidades de manejo. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(32), 40–50. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v0i0.2551>
- Murillo, O., Guevara, M., Badilla, Y., Esquivel, E. (2025). Manual de cultivo de melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en ciclo corto. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 50 p.
- Pramod, S., Mesara, S., Rao, K. S., & Rajput, K. S. (2022). Dieback of *Gmelina arborea* trees and structural alterations induced in the wood cell walls by *Alternaria alternata*. *Forestist*, 72(1), 2-9.
- Salas, A., Murillo, O., Murillo, R., & Ávila-Arias, C. (2016a). Evidencia de tolerancia genética de clones de *Gmelina arborea* Roxb. a la pudrición del tronco en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(32), 30–39.
- Salas, Alexis; Murillo, Olman; Murillo, Rafael; Ávila, Carlos; Mata, Xiomara; Fernández, Melania. (2016b). Evaluación de la severidad de la pudrición del tronco de *Gmelina arborea* Roxb. *Revista Forestal Mesoamericana*. Kurú 13 (32): 1-10.
- Valdetaro, D. C. O. F, Harrington, T. C., Oliveira, L. S. S., Guimaraes, L. M. S., McNew, D. L., Pimenta, L. V. A., Goncalves, R. C., Schurt, D. A., & Alfenas, A. C. (2019). A host specialized form of *Ceratocystis fimbriata* causes seed and seedling blight on native *Carapa guianensis* (andiroba) in Amazonian rainforests. *Fungal Biology*, 123(2), 170-182. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2018.12.001>
- Wingfield, M. J., & Robison, D. J. (2004). Diseases and insect pests of *Gmelina arborea*: real threats and real opportunities. *New Forests*, 28, 227-243.