

Tasa de avance de la pudrición del tronco en melina *Gmelina arborea* Roxb. y posibilidades de manejo

Olman Murillo-Gamboa¹

Alexis Salas-Rodríguez²

Rafael Murillo-Cruz³

Carlos Ávila-Arias³

Resumen

Se investigaron durante 15 meses (desde los 2,7 años de edad hasta 3,95 años) tres plantaciones clonales de *Gmelina arborea* en el Pacífico sur del país, afectadas por la pudrición del tronco. Todos los árboles dentro de cada plantación fueron evaluados a los 2,7 años de edad, de acuerdo con las cinco categorías de grado de severidad de la pudrición del tronco. Las plantaciones fueron raleadas en un 45% a los 2,7 años de edad con criterio fitosanitario y silvicultural, donde se eliminó todo árbol con algún vestigio visible de la enfermedad. A los 5,5 meses (3,15 años) y 15 meses (3,95 años) después se volvió a valorar la severidad a todos los árboles presentes. Los análisis reportan la existencia de un patrón definido que sugiere a menor clase diamétrica y

Abstract

Rot log advance rate in melina *Gmelina arborea* Roxb. and management possibilities

Three *Gmelina arborea* clonal plantations located in southern Pacific of the country were investigated during 15 months (from 2.7 to 3.95 years old) in relation to its stem-rot infection. All present trees were assessed at 2.7 years-old in relation to its severity degree. After severity assessment, plantations were subjected to thinning at 45% intensity at 2.7 year old, combining phytosanitary and silvicultural criteria, where every tree with some vestige of the disease was removed. At 5.5 (3.15 years old) and 15 months later (3.95 years old), all remnant trees were assessed again in its severity degree scale based

1. Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal; Cartago, Costa Rica. Autor para correspondencia; olmuga@yahoo.es

2. Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Ambientales; Heredia, Costa Rica. Autor para correspondencia; alsalas_18@hotmail.com

3. Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR), Universidad Nacional; Heredia, Costa Rica; murillorafael5454@yahoo.com; carlosenriquea79@gmail.com

Recibido: 12/04/2016

Aceptado: 18/04/2016

posición sociológica, mayor incidencia y severidad de la enfermedad. A los 15 meses posterior al raleo, la tasa de incidencia registró un avance de 2,25% mensual de los árboles hasta afectar a más del 35% de la población. El patrón de incidencia sigue una función exponencial, a mayor grado de severidad, mayor velocidad de progreso de la enfermedad. Los análisis permiten estimar que una plantación susceptible a la enfermedad podría registrar una tasa de incidencia de un 3,5% mensual, o bien, un 40% anual. Si se analiza la tasa crítica de avance de la enfermedad, basada solamente en los individuos con categorías de severidad 3, 4 y 5, el avance es de un 15% anual (1,25% mensual). Se propone un régimen de raleos anual, alternando entre raleo fitosanitario y silvicultural, que inicie entre los 18 a 24 meses, para lograr un manejo oportuno de la enfermedad. Los raleos fitosanitarios no deben ser inferiores a un 15% de la población remanente. La investigación encontró evidencia de la posible existencia de material genético con algún grado de tolerancia a la pudrición del tronco. Futuras investigaciones podrán profundizar en este aspecto, ya que el uso de material genéticamente tolerante debe ser una de las bases del manejo integrado de esta enfermedad, junto con mejores prácticas de preparación y manejo del suelo, control de gramíneas, entre otras.

Palabras clave: *Gmelina arborea*, patología, Pacífico sur, Costa Rica, silvicultura clonal, manejo integrado de enfermedades.

Introducción

La melina es una de las especies más importante en la reforestación nacional y sin duda la de mayor progreso en los programas de mejoramiento genético (Murillo, 1992, Zeaser, 1998, Murillo & Guevara, 2013, Ávila, Murillo y Murillo, 2015, Espitia, Murillo y Castillo, 2016). Sin embargo, en los últimos años se ha venido manifestando el ataque de patógenos oportunistas del suelo, aparentemente *Fusarium* spp. (Arguedas, Chaverri y Millar, 1995, Arguedas, 2004) que ocasionan una pudrición del tronco en forma acelerada. *Ceratocystis fimbriata* ha sido reportada como la enfermedad de mayor peligrosidad en melina, dada su patogenicidad que produce la pudrición del tronco y su posible modo de dispersión a través de heridas producidas por actividades como la poda y el raleo. Fue reportada primero en Jari, Brasil en 1970 (Muhovej et al., 1978, Dianese, 1986, citados en Wingfield & Robinson, 2003). Se tiene registros de evidencia de la enfermedad desde los 7 meses de edad, que causan la pudrición total del tronco en pocas semanas (Salas, 2015, Ávila Murillo y Murillo, 2015). Sin embargo, la evidencia no permite aún determinar con claridad el verdadero agente causal de la pudrición del tronco y muerte de la melina (Arguedas,

on 5 categories. Data analysis reported the existence of a definite pattern that suggests that a smaller diameter class and lower sociological position, higher incidence and severity of disease. Fifteen months after thinning, disease incidence registered an increase rate of 2.25% per month and affected more than 35% of population. Incidence pattern follows an exponential function, the higher the disease severity degree, the fastest its rate of progress. Analysis showed that a susceptible plantation to disease could be infected at an incidence rate of 3.5% per month, or 40% annual. If is only considered the three critic severity categories (3, 4 and 5), the increase rate is 15% annual (1.25% per month). Based on these results, it is proposed an annual thinning regime, alternating between phytosanitary and silvicultural criteria that must starts between 18 to 24 months-old in order to accomplish an opportune disease management. Phytosanitary thinning must always exceed 15% of remnant population. Future investigations could continue into this matter, since usage of genetically tolerant materials must be the basis of an integrated management of this disease besides better silvicultural practices as soil preparation and management, grass control, among others.

Keywords: *Gmelina arborea*, pathology, south Pacific, Costa Rica, clonal forestry, integrated disease management.

2004, Méndez, 2011). Su actividad ha sido tan virulenta que se ha convertido ya en una alarma nacional en esta especie, una de las de mayor cultivo anual en el país (Murillo y Guevara, 2013), cuya madera representa más del 60 % de la industria maderera en Costa Rica (Oficina Nacional Forestal, 2013).

Recientemente, Salas (2015) desarrolló una serie de investigaciones sobre la especie y el potencial de mejoramiento genético, a través de la búsqueda de genotipos tolerantes a la enfermedad. Como parte de su trabajo adaptó y validó una metodología para valorar el grado de severidad de la enfermedad, que ha permitido evaluar plantaciones y cuantificar el grado de avance de la enfermedad (Salas et al., en prensa). En el año 2012 se inició en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, en vinculación directa con un grupo de empresas reforestadoras asociadas a la cooperativa de mejoramiento genético GENFORES, un trabajo a largo plazo que busca el desarrollo de resistencia genética a esta devastadora enfermedad (Murillo, Rojas y Badilla, 2013). Esta investigación se desarrolló para determinar la tasa de progreso de la enfermedad y la posibilidad de manejo basada en raleos oportunos. Las cinco categorías de severidad de la pudrición del tronco de melina desarrolladas por Salas

et al. (en prensa), se establecieron basadas en criterios de oportunidad de manejo, de modo que contribuyan a la toma de decisiones (FAO, 2006, Méndez, 2011).

Metodología

Se evaluaron tres ensayos clonales de *Gmelina arborea* establecidos en el año 2010 en la zona de Puerto Jiménez, Golfito, Pacífico sur de Costa Rica (Cuadro 1). Los ensayos tenían 2,7 años de edad al inicio de la investigación. Dos de ellos localizados en la localidad La Amapola de la Palma, identificados como Yadira Norte y Yadira Sur (YN y YS respectivamente) y el tercero en la localidad de Cañaza denominado Susana Sur (SS). El material clonal evaluado en los tres ensayos fue reproducido en el programa de mejoramiento genético forestal de Coopeagri en Pérez Zeledón, zona sur del país. Los clones procedentes de selecciones de la zona norte se denominaron como Norte y así respectivamente los clones procedentes de la zona sur. Los sitios evaluados se localizan entre las coordenadas Latitud Norte 8° 56' a 8° 60' y Longitud Oeste 83° 31' a 83° 44' (Salas, 2015, ver). Los sitios se localizan ecológicamente en la Zona de Vida Bosque Muy Húmedo Premontano Transición a Basal del sistema descrito por Holdridge, con precipitación anual que oscila desde los 3000 a los 6000 mm*año⁻¹, temperatura promedio anual entre 22 y 28 °C, luminosidad de 5 a 7 horas diarias y, con predominio de suelos inceptisoles y entisoles (Rojas, 2011).

La textura de los suelos de los tres ensayos se determina entre franco a franco arenoso y franco arcilloso (Salas, 2015). Los sitios son planos con pendientes muy ligeras inferiores a un 5 % que implican la necesidad de un buen manejo del agua para evitar el encharcamiento. En las fincas Yadira y Susana se preparó el terreno con dos pasadas de rastra y posteriormente se establecieron camellones para mejorar el control del agua superficial. De manera adicional, se mejoró en profundidad un drenaje principal y tres secundarios con ayuda de un retroexcavador. Al momento de la siembra cada planta fue fertilizada con 60 gramos de un producto comercial

Cuadro 1. Características generales de los ensayos clonales de melina (*Gmelina arborea*) de 2,7 años de edad, utilizados en la investigación, Pacífico sur de Costa Rica.

Table 1. General features of melina (*Gmelina arborea*) clonal treatments 2.7 years old that were used in the investigation, south Pacific of Costa Rica.

Características	Yadira Norte	Yadira Sur	Susana Sur
Edad (años)	2,7	2,7	2,7
N árboles	621	1094	942
Cantidad de clones	19	29	27

YN: Yadira procedencia norte, YS: Yadira procedencia sur; SS: Susana procedencia sur.



Figura 1. Ubicación geográfica de los ensayos clonales de *Gmelina arborea* en el Pacífico sur de Costa Rica.

Figure 1. Geographic location of *Gmelina arborea* clonal treatments in south Pacific of Costa Rica.

con la proporción 19 – 4 -19-3 (MgO) – 1,8 (S) – 0,1 (B) – 0,1 (Zn) (Salas, 2015). Los ensayos se establecieron siguiendo el diseño experimental desarrollado por GENFORES (Murillo & Badilla, 2004), que consiste en seis bloques completos al azar, con seis individuos por clon (parcela), distribuidos aleatoriamente en tres parejas independientes dentro de cada bloque. El distanciamiento de siembra fue de 4 m x 4 m entre filas y árboles.

A todos los árboles de los ensayos genéticos se les midió el dap (cm), se anotó su posición sociológica (1 = suprimido, 2 = intermedio, 3 = codominante y 4 = dominante) y se les calificó el grado de severidad o de avance de la pudrición del tronco, en cinco categorías propuestas y validadas por Salas (2015). La categoría de severidad 1 corresponde a un árbol completamente sano y sucesivamente hasta la categoría de severidad 5, que corresponde a un individuo 100% afectado y muerto en pie, con proceso de pudrición total avanzado.

Se realizó un primer raleo silvicultural (45 % de intensidad en promedio) a poco menos de los tres años de edad en los tres ensayos, justamente después de la primera evaluación realizada en los sitios experimentales. En este raleo se eliminó todo árbol que presentara síntomas visibles de la pudrición del tronco, inclusive en sus fases iniciales. Los ensayos fueron evaluados nuevamente cinco meses y medio después de este primer raleo (2,7 años de edad) y, nuevamente a los quince meses (3,95 años). En la segunda y tercera evaluación se calificó nuevamente el grado de severidad y dap de cada individuo dentro del ensayo, con el objetivo de determinar el comportamiento y avance de la enfermedad a través del tiempo.

La tasa de avance de la enfermedad se determinó, individuo por individuo, con base en el progreso en su categoría de severidad, así como en la tasa colectiva de incidencia de la enfermedad en la plantación. La tasa de severidad y de incidencia se estimó para cada medición como propone Salas (2015):

$$\text{Tasa de incidencia \%} = \left[\frac{\sum \text{enfermos}}{\sum \text{Total de Individuos}} \right] * 100$$

$$\text{Índice de severidad} = \left[\frac{\sum \text{sv1} * 1 + \sum \text{sv2} * 2 + \sum \text{sv3} * 3 + \sum \text{sv4} * 4 + \sum \text{sv5} * 5}{\sum \text{Total de Individuos}} \right]$$

Donde sv1 corresponde a categoría de severidad 1, y sucesivamente hasta sv5 para categoría de severidad 5.

Para un mejor análisis y comprensión, los datos fueron organizados en cuadros en EXCEL, donde se agruparon los árboles según su categoría de severidad para cada una de las tres evaluaciones. De esta manera se pudo registrar el tiempo de paso o cambio de árboles que avanzaron de su categoría de severidad inicial, hacia otra categoría de severidad superior, en las siguientes dos mediciones (5,5 y 15 meses). Para obtener un patrón general del tiempo de paso, se determinó el índice de severidad de cada evaluación en cada uno de los tres sitios. Los datos de índice de severidad vs tiempo fueron graficados y se les ajustó una línea de tendencia.

Resultados

El raleo efectuado en los tres sitios redujo la densidad (N) en un 46%, 46% y 35% para las fincas Susana Sur (SS), Yadira Sur (YS) y Yadira Norte (YN) respectivamente. Este raleo tuvo como criterio la eliminación de todos aquellos árboles que presentaban síntomas de la pudrición del tronco de la melina, aún en categoría de severidad 2, o incipiente. Como parte del efecto positivo del raleo, a los 5,5 meses se registró una disminución en los índices de severidad e incidencia en los tres sitios, con valores de -50% en la incidencia y de -33% en el grado de severidad (Cuadro 2), con excepción del sitio YN, dado que desde un inicio fue la plantación con el menor registro inicial de la enfermedad. A los 5,5 meses después del raleo puede observarse que las tres plantaciones volvieron a enfermarse en un promedio de un 5,5% y con un índice de severidad de poco más de un 13 %. Si no se considera el sitio YN, por resultar prácticamente sin afectación, las dos plantaciones restantes (YS y SS) se enfermaron y registraron 7,8 % de incidencia y 18,75 % en severidad. A los 15 meses después del raleo, la tasa de incidencia alcanzó casi una cuarta parte de los árboles de las plantaciones (23,7 %) y la severidad continuó progresando hasta alcanzar poco más de un 15 %. Sin considerar el sitio YN, la incidencia alcanzó una tercera parte de los árboles (33,75 %) y la severidad un 22,5 %. Si se expresa en meses, la incidencia avanzó los

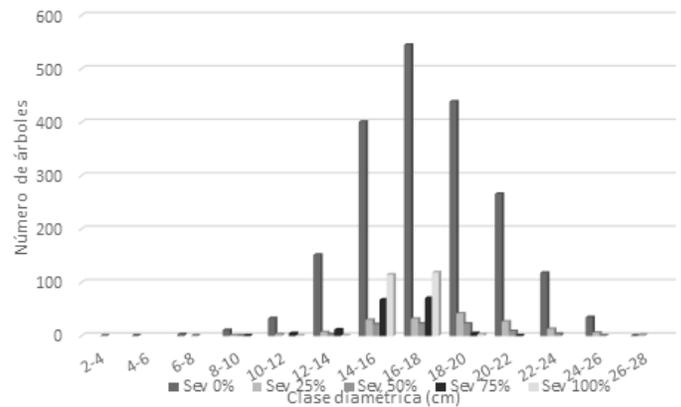


Figura 2. Distribución diamétrica de los árboles según la severidad reportada en la primera evaluación (2,7 años de edad) en los ensayos de melina (*Gmelina arborea*), Pacífico sur de Costa Rica.

Figure 2. Trees diameter distribution according to first reported severity evaluation (2.7 years old) in *Gmelina arborea* treatments, south Pacific of Costa Rica.

primeros 5,5 meses a una tasa de 1 %, mientras que la severidad a casi un 2,5 % mensual, que aumenta a 1,4 % y 3,4 % respectivamente sin considerar YN. Un mejor dato puede obtenerse a los 15 meses, donde se registró una tasa de avance de la incidencia en 1,6 % mes y la severidad en 1 % mensual, que nuevamente, sin el sitio YN, la tasa mensual de avance de la enfermedad registró un 2,25 % en incidencia y 1,5 % en severidad.

En la figura 2 se muestra la distribución del dap vs las categorías de grado de severidad de todos los árboles evaluados en los tres sitios. La severidad se muestra en forma porcentual para su facilidad de análisis (severidad 1 o sano = 0 %, severidad 5 o muerto = 100 %). Se registró que un 77 % de los árboles estaban sanos en apariencia y sin síntomas visibles (severidad 1), un 6,7 % exhibió síntomas iniciales de la enfermedad (severidad 2), un 3,5 % y un 7 % con severidad 3 y 4 respectivamente, mientras que los árboles muertos y en estado avanzado de pudrición registraron un 12 %.

En la figura 3 se muestra la relación entre la posición sociológica de los árboles y su categoría de severidad registrada. Puede observarse claramente un patrón de mayor severidad (75 y 100 %) de la pudrición en árboles con posición sociológica 1 y 2, que corresponde con los árboles suprimidos e intermedios respectivamente.

En el cuadro 3 se puede observar el registro puntual del paso de categoría de severidad en cada una de las dos mediciones posteriores, para cada uno de los tres sitios evaluados. Las diferencias en número de árboles entre mediciones se debe al efecto de pérdida de árboles por causas externas (viento principalmente en Susana Sur).

Puede observarse el cambio acentuado de árboles que pasan de la categoría de severidad 1 (sanos) hacia las

Cuadro 2. Mediciones a los 5,5 y 15 meses después del raleo, del índice de severidad y del índice de incidencia de la pudrición del tronco, en tres ensayos clonales (**SS** = Susana sur; **YS** = Yadira sur; **YN** = Yadira norte) de melina (*Gmelina arborea*) en el Pacífico sur de Costa Rica.

Table 2. Measurement at 5.5 and 15 months after thinning, about log rot severity index and incidence index, three *Gmelina arborea* clonal treatments (**SS** = Susana sur; **YS** = Yadira sur; **YN** = Yadira norte), south Pacific of Costa Rica.

Ensayos	Medición inicial (2,7 años de edad, antes del raleo)		Medición 5,5 meses (después del raleo)		Medición 15 meses (después del raleo)	
	Incidencia (%)	Severidad (%)	Incidencia	Severidad	Incidencia	Severidad
SS	22,60	31,70	9,03	22,80	45,10	31,60
YS	20,70	30,40	6,58	14,70	22,40	13,40
YN	1,10	3,38	0,87	2,70	3,70	1,90
Promedio			5,49	13,40	23,73	15,63
Promedio sin YN			7,81	18,75	33,75	22,50
Tasa de cambio (%) según cada sitio con relación a la medición anterior						
SS			-60,04	-28,08	399,45	38,60
YS			-68,21	-51,64	240,43	-8,84
YN			-20,91	-20,12	325,29	-29,63
Promedio (%)			-49,72	-33,28	321,72	0,04
Promedio sin YN			-64,13	-39,86	319,94	14,88
					Tasa de cambio con relación al mes 0 (antes del raleo)	
					99,56	-0,32
					8,21	-55,92
					236,36	-43,79
Promedio (%)					114,71	-33,34
Promedio sin YN					53,89	-28,12

Cuadro 3. Tasa de cambio en la categoría de severidad a la pudrición del tronco en tres ensayos clonales de melina (*Gmelina arborea*), Pacífico sur de Costa Rica.

Table 3. Exchange rate in the severity rank to rot log in three *Gmelina arborea* clonal treatments, south Pacific, Costa Rica.

Paso de categoría	Tasa de cambio de categoría (%)								
	Yadira Sur			Yadira Norte			Susana Sur		
	M0 a M1	M1 a M2	M2 a M3	M0 a M1	M1 a M2	M2 a M3	M0 a M1	M1 a M2	M2 a M3
1 a 1	556	500	451	397	389	386	487	389	261
1 a 2		25	23		7	5		67	42
1 a 3		19	20		1	2		25	22
1 a 4		11	9		0	5		5	20
1 a 5		1	7		0	0		1	40
2 a 2	22	14	11	3	2	0	11	6	10
2 a 3		4	9		1	0		1	6
2 a 4		4	2		0	0		4	7
2 a 5		0	5		0	0		0	28
3 a 3	2	1	10	1	0	1	2	0	5
3 a 4		1	5		1	2		0	1
3 a 5		0	8		0	0		2	19
4 a 4	3	3	4	1	1	0	0	0	1
4 a 5		0	14		0	1		0	8
5 a 5	2	2	3	0	0	0	4	4	5
Total	585	585	581	402	402	402	504	504	475

M1: Medición 1 a los 2,7 años de edad; **M2:** Medición 2 a los 5,5 meses posteriores; **M3:** Medición 3 a los 15 meses posteriores.

Cuadro 4. Tasa de progreso en severidad (por paso categoría) de la pudrición del tronco de la melina (*Gmelina arborea*), en plantaciones clonales en el Pacífico sur de Costa Rica.

Table 4. Rate of severity rot log progress (each category step) in *Gmelina arborea* clonal plantations, south Pacific, Costa Rica.

	No. de pasos de severidad	Yadira Sur	Yadira Norte	Susana Sur	Promedio (sin Yadira Norte)
Evaluación a los 5,5 meses	1 Paso	5,13	2,24	13,49	9,31
	2 Pasos	3,93	0,25	6,15	5,04
	3 Pasos	1,88	0,00	0,99	1,44
	4 Pasos	0,17	0,00	0,20	0,18
			Acumulado		
Evaluación a los 15 meses	1 Paso	8,78	1,99	12,00	10,39
	2 Pasos	5,16	0,50	10,11	7,63
	3 Pasos	2,41	1,24	10,11	6,26
	4 Pasos	1,20	0,00	8,42	4,81
			Acumulado		

Cuadro 5: Tasa de progreso mensual (%) del índice de incidencia y del índice de severidad de la pudrición del tronco de la melina (*Gmelina arborea*), en plantaciones clonales en el Pacífico sur de Costa Rica.

Table 5. Rate monthly progress (%) about rot log incidence index and severity index in *Gmelina arborea* clonal plantations, south Pacific, Costa Rica.

Índice	Mes de medición	Yadira Sur	Yadira Norte	Susana Sur	Tasa mensual
Incidencia	5,5	14,53	3,23	22,82	3,40
	15	22,38	3,98	48,21	3,72
Severidad	5,5	3,94	4,74	4,90	4,52
	15	2,81	2,85	5,04	3,57

siguientes categorías, principalmente en los sitios Yadira Sur y Susana Sur. El sitio Susana Sur fue el que registró la mayor tasa de cambio en ambas mediciones. En contraste, el sitio Yadira Norte registró la menor incidencia de los tres sitios desde el inicio de la investigación. A los 5,5 y 15 meses después, esta plantación continuó con valores de incidencia sumamente bajos.

En el cuadro 4 se presenta la información sobre la tasa de avance de la severidad de la enfermedad en función del número de meses posterior al raleo. Puede notarse un patrón de aumento de un 82 % entre la valoración a los 5,5 meses vs a los 15 meses después del raleo, solamente en los sitios Yadira Sur y Susana Sur. Este patrón de aumento es más acelerado entre los 5,5 y los 15 meses, pues registra una mayor cantidad de árboles progresando 2, 3, y hasta 4 pasos de severidad. De manera contrastante, el sitio Yadira Norte continúa con tasas sumamente bajas de incidencia a lo largo de los 15 meses de observación.

En la figura 4 se observa el patrón en la tasa de cambio de categorías de severidad a la pudrición del tronco en melina. Los puntos corresponden al valor del índice de severidad de cada sitio en cada momento de evaluación. Puede observarse que la pendiente de la función ajustada

no es lineal, sino que sigue un patrón exponencial, que tiende a aumentar su ritmo de cambio a mayor tiempo de evaluación y a mayor índice de severidad.

En el cuadro 5 se muestra el patrón general de paso de categoría de severidad expresado en porcentaje. Puede observarse que la tasa promedio de infección o incidencia de la enfermedad, aumenta aproximadamente en un promedio de un 3,5 % mensual. Mientras que la tasa de severidad (virulencia) muestra un progreso mensual un poco mayor, que oscila desde un 3,5 hasta un 4,5 % mensual.

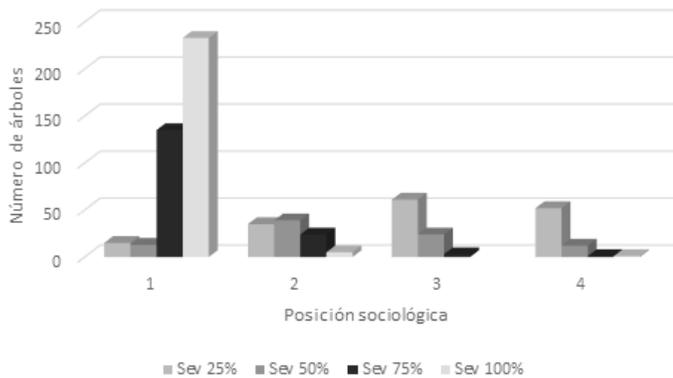


Figura 3. Posición sociológica vs categoría de severidad a la pudrición del tronco en árboles de melina (*Gmelina arborea*) a los 2,7 años de edad, Pacífico sur de Costa Rica. Suprimidos = 1; Dominantes = 4.

Figure 3. Sociological position vs severity rank of log rot in *Gmelina arborea* trees at 2.7 years old, south Pacific, Costa Rica.

Discusión

La incidencia de la enfermedad antes del raleo fue de 21,6 % como promedio entre los sitios de YS y SS. Este valor es aplicable a plantaciones clonadas de melina de 2,7 años, sin embargo, las plantaciones de semilla de 3 años de edad (Semilla Ston Forestal) tenían valores de incidencia de esta enfermedad entre 3 a 5 % (Rafael Murillo, comunicación personal). Cuando se aplicó el raleo (a los 2,7 años de edad) se eliminaron todos aquellos individuos con síntomas visibles de la enfermedad. Sin embargo, la sintomatología no es siempre evidente y pudieron quedar en pie individuos enfermos en los primeros estadios de la enfermedad. Esto podría inducir algún grado de error en las estimaciones del progreso de la enfermedad entre las dos evaluaciones posteriores (Cuadro 2). No obstante, este tipo de error puede considerarse de poca magnitud, dado que en la gran mayoría de los árboles los síntomas de la enfermedad son prominentes y de fácil valoración visual. En el cuadro 2 se observa que la tasa promedio de incidencia a los 5,5 meses después de efectuado el raleo, fue de tan solo un 7,8 %, valor relativamente de baja magnitud.

Puede también observarse que el efecto del raleo impactó positivamente las plantaciones. A los 5,5 meses después del raleo los valores de incidencia y severidad registrados son inferiores al estado de las plantaciones previo al raleo e inicio de la investigación (Cuadro 2). El raleo logró disminuir la incidencia en 50% y la severidad en 33%. Sin considerar el sitio YN, estos valores son aún más acentuados, con un -64% en incidencia y -40% en severidad. Quince meses posteriores al raleo, se observaba todavía parte del efecto del raleo. La tasa de incidencia aumentó en un 54 % (sin YN), pero el grado de severidad se mantuvo en valores inferiores al inicio, con un -28 % (sin YN).

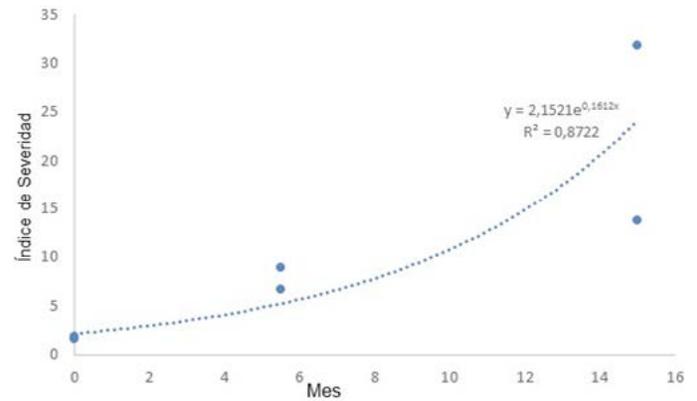


Figura 4. Tiempo de paso en la categoría de severidad a la pudrición del tronco en árboles de melina (*Gmelina arborea*), Pacífico sur de Costa Rica.

Figure 4. Step time in the severity rot log rank on *Gmelina arborea* trees, south Pacific, Costa Rica.

Si se analiza la tasa de cambio con respecto a la medición anterior, puede observarse que en el lapso transcurrido entre las dos evaluaciones (5,5 a 15 meses después del raleo), el avance de la enfermedad registra un incremento sumamente elevado, con una tasa de cambio promedio de 320 %, pero prácticamente de 0 % en severidad. Sin considerar el sitio Yadira Norte, la tasa de incidencia es la misma (320 %), pero la severidad registró un aumento de un 15 %.

Con respecto a la relación de la clase diamétrica vs categoría de severidad (Figura 2), puede observarse que prácticamente todos los árboles con el mayor grado de severidad (categorías 3, 4 y 5, o también, 50, 75 y 100 % respectivamente) se localizaron entre las clases diamétricas inferiores a los 18 cm. El 100 % de los árboles con la máxima categoría de severidad (5 ó 100 %) se registraron en las clases diamétricas de 14 a 18 cm, que corresponde con árboles inferiores al diámetro medio de la población (dap = 18 cm). En contraste, en las categorías diamétricas superiores al promedio poblacional predominaron los árboles sanos o con grado de severidad inicial (25 %). Claramente se observa un patrón de infección inversamente proporcional al dap, es decir, a menor clase diamétrica se presenta mayor incidencia y severidad.

De manera análoga, la figura 3 muestra un patrón similar al de la relación de la clase diamétrica vs severidad de la enfermedad. Se observa claramente un patrón inverso entre la posición sociológica suprimido e intermedio (categoría 1 y 2) vs una mayor tasa de incidencia/severidad. Los individuos dominantes y codominantes (categorías 3 y 4) registraron una baja tasa de incidencia de la enfermedad.

Si se asocia la información generada en las figuras 2 y 3, junto con el efecto positivo del primer raleo (Cuadro 2), se tiene suficiente evidencia de que un buen manejo

silvicultural de la plantación, basado en raleos oportunos por lo bajo, podría controlar y reducir el avance acelerado de la enfermedad en plantaciones de melina. Adicional a esta evidencia y buen resultado del raleo, las preguntas relevantes pueden ser las siguientes: ¿de cuánto tiempo se dispone?, ¿qué tan frecuentes deben ser los raleos?, ¿cuál debería ser la abundancia inicial?, ¿cuál es la frecuencia de las podas? y ¿cuál es el método preventivo para aplicar en los cortes de poda de melina?

El cuadro 3 compila evidencia en relación con la tasa de progreso o cambio de la enfermedad en melina. Debe resaltarse que hay sitios como Yadira Norte que desde el inicio de la investigación registraron una incidencia baja de esta enfermedad. Este sitio está localizado a la par del sitio Yadira Sur que registró valores muy altos de incidencia. Si ambos ensayos fueron establecidos simultáneamente y bajo las mismas prácticas silviculturales de preparación de sitio, se debe asumir que las condiciones ambientales de ambas plantaciones fueron las mismas (Ávila, Murillo y Murillo, 2015). Estos resultados sugieren que sus diferencias se deben únicamente a la composición genética de los clones utilizados en ambas plantaciones. Yadira Norte está conformado por un grupo de clones seleccionados en la zona norte del país, mientras que la población de clones de Yadira Sur son materiales seleccionados por Coopeagri en la zona de Palmar sur (Pacífico sur de Costa Rica). Estos resultados parecen confirmar los hallazgos de Salas (2015), que reportó un alto control genético (valores de heredabilidad $h^2 > 0,5$) de genotipos de melina en relación con su tolerancia a esta enfermedad. Confirman también estos resultados, que es perfectamente posible establecer una plantación clonal de melina exitosa basada en genotipos tolerantes a esta enfermedad. Que a pesar de estar establecida en las mismas condiciones ambientales donde otras plantaciones de melina se enfermaron, esta plantación con este material genético si logra crecer satisfactoriamente.

Del cuadro 3 se desprende la información sobre la tasa de cambio o tasa de avance de la enfermedad. El patrón de avance o paso de categoría de severidad no sigue un orden lineal. Casi un 50 % de los árboles que se enfermaron por primera vez registraron un solo paso de severidad, mientras que un 25 % avanzó dos categorías, un 14 % lo hizo en tres categorías y, solamente un 14 % avanzó cuatro categorías, lo cual nos da una idea de la velocidad de dispersión (virulencia) de la enfermedad. Cuando los árboles ya habían sido registrados previamente con síntomas de enfermedad (categoría 2), registraron un patrón diferente, ahora un 30 % avanzó una sola categoría, dos categorías un 24 % y casi un 47 % avanzaron las tres categorías hasta alcanzar el valor más alto. Finalmente, cuando los árboles habían sido registrados inicialmente en la categoría 3 de severidad, el patrón se invierte, un 25 % avanzó una categoría hasta alcanzar la severidad 4 y, un 75 % avanzó las

dos categorías de severidad restantes para alcanzar el máximo valor de pudrición. Puede entonces deducirse, que existe un patrón de progreso de la enfermedad que está en función del grado de severidad inicial del árbol. A mayor grado de severidad, mayor velocidad de progreso de la enfermedad, lo cual fue determinado en el comportamiento exponencial de los datos de severidad.

Este mismo patrón de aceleramiento de la severidad puede observarse en el cuadro 4. Al momento de realizarse la evaluación a los 5,5 meses después del raleo, se obtuvo en promedio un 16 % de progreso de la severidad. Mientras que en la segunda evaluación 9 meses después, se registró un progreso de 29 % y una mayor proporción de individuos que pasaron 2, 3 y hasta 4 pasos de severidad.

El modelo exponencial mostrado en la figura 4 representa lo señalado como patrón de progreso de la enfermedad en melina. Puede observarse como la pendiente de la función del índice de severidad aumenta significativamente con el tiempo en meses, después del raleo inicial. Sin pretender ser un modelo estadístico depurado por basarse en pocos datos, la función de tasa de crecimiento de la enfermedad ajustó matemáticamente bien y refleja apropiadamente el fenómeno epidemiológico de la enfermedad de la melina en esta región del Pacífico sur de Costa Rica.

La tasa de avance de la enfermedad expresada en porcentaje (Cuadro 5), puede ser un mejor parámetro para efectos de estimación del tiempo disponible para la toma de decisiones en el manejo de una plantación de melina clonal. Los resultados de un 3,5 % mensual de incidencia o de hasta un 4,5 % de aumento en la severidad, son simplemente alarmantes. Experiencias metodológicamente similares con *Eucalyptus cloeziana* en Brasil (Ruiz, Alfenas, Maffia & Barbosa, 1989), reportan tasas de aumento hasta de un 90 % de los árboles causadas por infección con roya (*Puccinia psidii*). En estos trabajos se reporta la ausencia de correlación entre la tasa de incidencia de la roya con variables ambientales como pluviosidad, temperatura promedio, entre otras variables investigadas. Estudios sobre el ataque de *Ceratocystis fimbriata* en *Eucalyptus* sp. en Bahía y Minas Gerais, Brasil (Ferreira, Harrington, Gongora-Canul, Mafia, Zauza, & Alfenas, 2013), reportan la aparición de los síntomas a los 20 meses de edad, que logra afectar hasta un 50 % de los árboles a los 74 meses de edad. Es importante señalar que el *Ceratocystis fimbriata* es un patógeno del suelo con un modo de acción muy similar a los *Fusarium*, que bien podría ser uno de los agentes causantes de la pudrición del tronco de la melina, reportado previamente en Jarí, Brasil (Wingfield & Robinson, 2003).

En una plantación clonal de melina, con genotipos altamente susceptibles al o los patógenos que ocasiona(n)

Cuadro 6. Propuesta de plan de manejo de plantaciones clonales de melina (*Gmelina arborea*) afectadas por la pudrición del tronco.

Table 6. Proposed management plan to *Gmelina arborea* clonal plantations affected by rotting log.

Edad (años)	N en pie	Tipo de raleo	N a ralear
2	625	Fitosanitario	20% = 125
	500		
3	500	Silvicultural + Fitosanitario	40% = 200
	300		
4	300	Fitosanitario	17% = 50
	250		
5	250	Silvicultural + Fitosanitario	40% = 100
	150		
6	125	Fitosanitario	16% = 25
	125		
7	125	Cosecha Final	115

esta enfermedad, podría registrarse a este ritmo una tasa de incidencia superior a un 40 % en tan solo un solo año. Sin embargo, no todos estos árboles morirán en este primer año, sino solamente los que alcancen el grado 4 y 5 de severidad. Por tanto el análisis crítico debe basarse en la tasa de aumento mensual de los árboles en estas dos categorías. Los árboles en las categorías de severidad 2 y 3, son individuos que aún pueden permanecer en la plantación por un lapso de tiempo mayor, pues su madera no ha iniciado un proceso severo de pudrición (Salas, 2015). Si se extraen del cuadro 4 solamente los registros que alcanzan la severidad 4 y 5, se obtiene una tasa de aumento mensual de 0,75 %. Este valor significa que se perderían aproximadamente un 9 % de los árboles al año. Si sumamos en este análisis los árboles con registro de severidad 3, para evitar que el productor de melina pierda su madera, la tasa anual de pérdidas o de árboles que deben ser raleados anualmente por razones fitosanitarias alcanzaría un 15 %. Finalmente, la enfermedad se reporta visible a partir de finales del primer año de vida en los sitios más críticos (Salas, 2015). En esta zona de estudio, al momento del primer raleo (2,7 años de edad) se registró una incidencia de la enfermedad de un poco más de un 21 % (Cuadro 2), con aproximadamente un 1,5 % de los árboles con grado de severidad 4 y 5 (Cuadro 3). Esta información podría entonces integrarse en un programa de raleos como se expone en el cuadro 6.

Esta propuesta de manejo de plantaciones clonales de melina podría modificarse conforme más experiencia pueda obtenerse de futuros trabajos de investigación y del monitoreo de los ensayos clonales en campo. Puede observarse que si se sigue esta planificación de manejo, con raleos anuales oportunos, aún en plantaciones severamente afectadas es posible obtener una producción de madera de melina en un ciclo de 7 años. El principio fundamental se basa en un raleo temprano a partir del año 2, que podría adelantarse a los 18 meses en casos severos. Si adicional a un buen plan de raleos se utiliza material

genético altamente tolerante a esta enfermedad (Salas, 2015), el plan de manejo podría modificarse al punto de eliminar los raleos fitosanitarios. Como reflexión final, esta investigación hace un aporte al manejo integrado (MIP) de la pudrición del tronco de la melina. Otros elementos deben integrarse a nivel preventivo, como las buenas prácticas de preparación y manejo del suelo, control agresivo de las malezas, en particular de las gramíneas y, una buena planificación de las podas. Es oportuno señalar que las enfermedades forestales son parte de la realidad en el cultivo moderno de la madera. Por tanto, es fundamental continuar con las investigaciones que permitan comprender mejor su comportamiento y permitan desarrollar y mejorar las estrategias de prevención y control.

Conclusiones

La pudrición del tronco de la melina en esta región del país, sigue un patrón de infección de mayor incidencia en las clases diamétricas inferiores, así como en individuos en posición sociológica suprimido o intermedio. A menor clase diamétrica y posición sociológica, mayor incidencia y severidad de la enfermedad.

El raleo a los 2,7 años de edad generó un efecto positivo en el control del avance de la enfermedad. Sin embargo, a los 15 meses la tasa de incidencia registró un avance a un ritmo de un 2,25 % mensual.

La plantación Yadira Norte registró una tasa de incidencia menor al 4 % durante toda la investigación, que puede ser explicado por su conformación con clones altamente tolerantes a los patógenos asociados a la pudrición del tronco.

El patrón de incidencia y severidad de la pudrición del tronco de la melina sigue una función exponencial, a mayor grado de severidad, mayor velocidad de progreso de la enfermedad.

En una plantación clonal de melina, con genotipos altamente susceptibles al o los patógenos que ocasiona(n) esta enfermedad, podría registrarse una tasa de incidencia de un 3,5 % mensual o un 40 % anual. Sin embargo, el registro de árboles severamente enfermos (categorías 4 y 5) es de aproximadamente un 9 % anual, que podría alcanzar hasta un 15 % anual con la inclusión de árboles en severidad 3.

Las enfermedades forestales son parte de la realidad en el cultivo moderno de la madera. Es fundamental continuar con las investigaciones que permitan comprender mejor su comportamiento y permitan ir desarrollando y mejorando las estrategias de prevención y control.

Recomendaciones

Las plantaciones de melina deben establecerse únicamente con material genético altamente tolerante a la pudrición del tronco. El paquete tecnológico debe incluir buenas prácticas de preparación y manejo del suelo, un estricto control de malezas, en particular de las gramíneas y, un programa de podas realizado preferiblemente en la época seca y con el cuidado de sellar las heridas del corte de ramas.

Para lograr contener apropiadamente la enfermedad en plantaciones de melina altamente susceptibles, es recomendable efectuar raleos fitosanitarios en años alternos a los raleos silviculturales. Estos raleos deben lograr una intensidad de eliminación no menor a un 15 % de los árboles presentes. El primer raleo fitosanitario debe realizarse entre los 18 y 24 meses de edad.

Agradecimientos

Este trabajo tuvo el apoyo del proyecto “Uso de biocontroladores y materiales tolerantes en la prevención y manejo del síndrome de la muerte descendente de la teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*)”, financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) y del proyecto “MEPROME: Mejoramiento de la productividad de plantaciones clonales de Melina en fincas agroforestales” del Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR) de la Universidad Nacional (UNA).

Referencias

- Arguedas, M., Chaverri, P. y Millar, C. (1995). Cancro *Nectria* en especies forestales. Cartago, Costa Rica, ITCR-CIT. Serie. Plagas y enfermedades forestales no.18: 8.
- Arguedas, M. (2004). Problemas Fitosanitarios de la melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en Costa Rica. *Kurú: Revista Forestal* 1(2),1-9.

- Ávila, C., Murillo, R., Murillo, O. (2015). Selección de clones superiores de dos conjuntos genéticos de *Gmelina arborea* en el Pacífico sur de Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*. 49(1), 17-35.
- Espitia, M., Murillo, O. y Castillo, C. (2016). Ganancia genética esperada en melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en Córdoba, (Colombia). *Árvore* 40(1).
- FAO. (2006). *Manual de campo “Plagas y Enfermedades de Eucaliptos y Pinos en el Uruguay. Apoyo a la defensa y protección de las plantaciones forestales en el Uruguay*. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Proyecto PCT/URU/3002. Montevideo, Uruguay. Recuperado de: <http://www.fagro.edu.uy/~forestal/cursos/proteccion/Fao%20Manual%20de%20Campo.pdf>
- Ferreira, M. A., Harrington, T. C., Gongora-Canul, C., Mafia, R.G., Zauza, E. A. V. & Alfenas, A. (2013). Spatial-temporal patterns of *Ceratocystis* wilt in *Eucalyptus* sp. plantations in Brazil. *Forest Pathology* 43: 153–164.
- Méndez, A. (2011). *Evaluación de Tratamientos para el manejo de Nectria sp. en plantaciones de Gmelina arborea en Santa Rosa de Pocosol, Alajuela* (Tesis de licenciatura). Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Murillo, O. (1992). Diseño de un huerto semillero de *Gmelina arborea* Roxb. para la producción de semilla certificada en la zona norte de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 11(3), 51-58.
- Murillo, O. y Badilla, Y. (2004). *Evaluación de la calidad y estimación del valor en pie de la plantación forestal*. Instituto Tecnológico de Costa Rica: Cartago, Costa Rica.
- Murillo, O., Rojas, F. y Badilla, Y. (2013) Desarrollo de un programa de mejoramiento genético contra enfermedades en teca (*Tectona grandis* L.) y melina (*Gmelina arborea* Roxb.). Fase I Búsqueda de genotipos tolerantes a la muerte descendente de la teca y a la pudrición del tronco en melina. Propuesta de Investigación. Instituto Tecnológico de Costa Rica: Cartago, Costa Rica.
- Murillo, O. y Guevara, V. (2013). *Estado de los recursos genéticos forestales de Costa Rica*. San José, Costa Rica: MINAET/FAO/CONAGEBIO.
- Oficina Nacional Forestal. (2013). *Usos y Aportes de la Madera en Costa Rica: Estadísticas 2012*. San Antonio de Belén, Heredia, Costa Rica.
- Ruiz, R.A., Alfenas, A., Maffia, L.A. & Barbosa, MdeM. (1989). Progreso da ferrugem do Eucalipto, causada por *Puccinia psidii*, em condições de campo. *Fitopatologia Brasileira*, 14(1): 73-81.
- Rojas, N. (2011). *Cuenca: Ríos Península de Osa*. Instituto Meteorológico Nacional (IMN): Puntarenas, Costa Rica. Recuperado de http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/cuenca_rios_peninsula_de_osa_1.pdf
- Salas, A. (2015). *Determinación de la incidencia y severidad de la pudrición del tronco de genotipos de melina (Gmelina arborea Roxb.) en el Pacífico Sur de Costa Rica* (Tesis de licenciatura). Heredia, Costa Rica: Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Ambientales.
- Salas, A., Murillo, O., Murillo, R., Ávila, C., Hernández, W., Mata, X. y Fernández, M. (en prensa). Evaluación de la severidad de la pudrición del tronco de *Gmelina arborea* Roxb. *Revista Forestal Mesoamericana kurú*.

Wingfield, M. J. & Robinson, D. J. (2003). Diseases and Insect Pests of *Gmelina arborea*: Real threats and Real Opportunities. En: Recent advances with *Gmelina arborea*. Eds: Dvorak, W. S., Hodge, G. R., Woodbridge, W. C., & Romero, J. L. CD-Room. CAMCORE, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA.

Zeaser, D. (1998). Programa de mejoramiento genético de la Ston Forestal en la zona sur de Costa Rica. . En: Seminario, Aumento de la rentabilidad de las plantaciones forestales: un reto ligado al uso de semilla de alta calidad. MINAE: San José, Costa Rica.