

Evaluación de la **severidad de la pudrición**
del tronco en ***Gmelina arborea* Roxb.**

Alexis Salas-Rodríguez¹
Olman Murillo-Gamboa²
Rafael Murillo-Cruz¹⁻³
Carlos Ávila-Arias¹⁻³
Xiomara Mata-Granados²⁻⁴

Resumen

Se evaluó la severidad del daño causado por la pudrición del tronco en melina que se manifiesta desde los primeros meses de vida del árbol. El estudio fue realizado en siete ensayos clonales de *Gmelina arborea*, establecidos en el Pacífico Sur de Costa Rica. En los ensayos se evaluaron genotipos seleccionados en la Zona Norte y Sur del país. Con base en un análisis de la expresión de la sintomatología, se propuso una escala de diagramática de la severidad de la pudrición del tronco de *G. arborea*, basada en cinco grados de avance del daño. La escala se validó al utilizarla en otras plantaciones afectadas y localizadas en el Pacífico Sur del país. Los síntomas incipientes se manifiestan con una marchitez foliar generalizada, que luego ocasiona pérdida foliar y continúa avanzando hasta observarse la

Abstract

Stem-rot severity assessment in *Gmelina arborea* Roxb.

A severity evaluation of melina stem-rot damage was accomplished. This disease shows up as early as after some few months in the span of life in a plantation. The study was based on seven *G. arborea* clonal tests established in Costarican South Pacific, which evaluated genotypes selected in northern and southern regions of the country. Based on symptomatology expression analysis, it was proposed a five-severity degrees scale of *G. arborea* stem-rot, which allows a qualification of injuries progress. The severity scale was verified on different infected plantations nearby in south Pacific of the country. Initial symptoms show widespread wilting foliage, which progresses until complete foliage loss and,

1. Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Ambientales; Heredia, Costa Rica; alsalas_18@hotmail.com

2. Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal; Cartago, Costa Rica; olmuga@yahoo.es

3. Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR), UNA; Heredia, Costa Rica; murillorafael5454@yahoo.com; carlos.avila.arias@una.cr

4. Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Agronomía; San Carlos, Costa Rica; xmata@itcr.ac.cr

Recibido: 27/10/2015
Aceptado: 29/02/2016

aparición de exudaciones y formación de cancro en la parte baja del tronco. La patología avanza rápidamente hasta lograr la pérdida completa del follaje y luego la muerte del individuo. Como última categoría de severidad se designó al árbol que ha muerto y se ha iniciado un proceso final de pudrición, que inhabilita la utilización de su madera. Con base en la calificación individual de la severidad en los árboles, se propuso el uso de un índice de severidad de la enfermedad en la plantación, que permite obtener una evaluación numérica del grado de daño o de avance de la enfermedad en una escala de 1 a 100. La metodología mostró su robustez y facilidad de aplicación en campo, que permitirá la toma de decisiones oportunas en el manejo de la pudrición del tronco de la *G. arborea*.

Palabras clave: *Gmelina arborea*, silvicultura clonal, patología, Fusarium

Introducción

Debido a su acelerado crecimiento y gran variedad de usos, *Gmelina arborea* (melina) es una de las mejores opciones de reforestación comercial en zonas tropicales, como opción para garantizar el abastecimiento de materia prima para la industria forestal (Balcorta y Vargas, 2004; Kumar, 2007; Wee, Li, Dvorak & Hong, 2012). Le contribuye además un amplio conocimiento generado en técnicas de propagación, programas de mejoramiento genético, sistemas novedosos de cultivo, propiedades de su madera, transformación industrial y comercialización en la industria del mueble y la construcción (Alfaro & De Camino, 2002; Badilla, Murillo, Azofeifa, y Obando, 2003; Rojas et al., 2004; Gómez y Chinchilla, 2004; Salas, 2012).

El Sistema de Estadísticas Forestales de Costa Rica (SIREFOR, 2011) la reporta como la especie con mayor volumen aprovechado durante los años 2011 y 2012, principalmente para la fabricación de tarimas y otros productos de embalaje.

Esta actividad generó ingresos para el sector forestal de US\$ 61,8 millones, con un registro en volumen de 448505 metros cúbicos en rollo, equivalente al 72 % de la madera de plantación producida en el país en el 2012 (ONF, 2013). En los últimos años se ha retomado los programas de mejoramiento genético en Costa Rica con esta especie, basados ahora en una estrategia clonal (Murillo, Obando, Badilla, y Azofeifa, 2003; Badilla et al., 2003; Chacón y Murillo, 2005; Salas, 2012), que ha promovido una mayor productividad en plantaciones. En un censo reciente sobre la producción en los viveros forestales del país, se registró en el 2012 una producción cercana a los 3 millones de plantas (Murillo y Guevara, 2013).

in advanced stages, stem exudates and stem canker formation can be seen in the lower section of the trunk. Pathology progresses rapidly until complete foliage loss and tree death. As the last severity stage was designated when there is a tree completely dead, a final complete rot is achieved and, disabling its timber utilization. Based on individual tree severity assessment a stand severity index is being proposed, as a numerical valuation of stand damages or infection degree in a scale from 1 to 100. The methodology showed its robustness and easy field application, its usage will allow opportune decision taking on *G. arborea* stem rot management.

Keywords: *Gmelina arborea*, clonal silviculture, pathology, Fusarium

No obstante, el uso de materiales genéticamente superiores no excluye a la especie a una exposición al ataque de patógenos (Hilje, Cartín y March, 2008). Los primeros reportes sobre problemas fitosanitarios en melina en Costa Rica se registraron en 1995, donde se mencionaron árboles con síntomas de una enfermedad que provoca la pudrición del tronco, que llega a producir la muerte de los árboles (Arguedas, Chaverri y Millar, 1995). En este estudio se reportó que la pudrición ocurre en zonas extensas y alargadas de la corteza resquebrajada y ennegrecida tipo cancro, donde el área necrótica de los tejidos corticales puede abarcar el perímetro del árbol.

Los síntomas inician con un marchitamiento de las hojas que posteriormente se secan y caen. Se hipotetiza que el patógeno ingresa por el sistema radical y se trasloca por medio del sistema vascular, donde causa un efecto de “anillamiento” o de obstrucción que impide el libre flujo del agua, nutrientes y productos de la fotosíntesis, hasta provocar su muerte en un patrón descendente (Arguedas, 2004).

La causalidad de estos síntomas puede estar asociada a suelos pesados y de baja movilidad del agua, niveles freáticos altos, lixiviación alta de bases, acidez y baja fertilidad del suelo (CITA), se especula que *Nectria* es el agente causal de esta enfermedad (Arguedas, 2004). Si además de estos factores limitantes naturales del sitio, se combina con densidad alta de la plantación, poda inapropiada, drenajes sin mantenimiento, presencia severa de gramíneas, entre otros problemas de manejo, la patología se puede expresar de manera temprana y acelerada (Agrios, 2008). Muchos de los árboles infectados reaccionan produciendo rebrotes en la parte inferior del fuste y exudados o lloraderos en el tronco.

Se menciona también que en árboles de más de cinco años de edad los sectores de la corteza afectados, se encuentran delimitados por “callos” que se pueden resquebrajar (Arguedas, 2004).

Esta problemática se acentúan aún más ya que, en la producción forestal por lo general no existe una cultura de prospección temprana y sistemática de la plantación, que permita identificar la presencia de problemas fitosanitarios en tiempo oportuno (Boa, 2008). Costa Rica, no es la excepción; esta patología se ha constituido en el principal problema fitosanitario de la especie, que puede expresarse en árboles jóvenes desde los siete meses de edad, con afectación en el sistema radical que provoca condiciones severas de estrés en los árboles (Arguedas, 2004).

El diagnóstico poco preciso de esta enfermedad, también ha limitado los esfuerzos en la aplicación de medidas indirectas y directas de control, al respecto, Méndez (2011) realizó observaciones en el campo de la evolución de los síntomas en una plantación de melina, categorizó visualmente los síntomas en cuatro niveles basada en el grado de amarillamiento foliar y aparición de brotes basales, además, evaluó el efecto de dos tratamientos, uno preventivo en el que después de la poda aplicó de una mezcla (Kaytar®, fungicida Butrol® y cal 56® líquida) como sellador de la herida y otro tratamiento correctivo en el que inyectó un fungicida de cuarta generación (Nutriphite®) en diferentes dosis y concentraciones. El estudio reveló que la mayor incidencia de la enfermedad ocurre a los dos años de edad y que el tratamiento correctivo no fue efectivo.

Otros ejemplos de utilización de una escala de severidad fue el reportado por Matarrita, Sandoval y Arguedas (2006), quienes emplearon una escala de cinco categorías (sano, muy bajo, bajo, medio y muy alto) para evaluar el ataque de *Olivea tectonae* en un jardín clonal de teca en Costa Rica. Este procedimiento les permitió identificar aquellos genotipos que registraron el mayor porcentaje de incidencia.

Esta patología está creando un factor de riesgo para el inversionista y productores de melina en general, situación que ya se vislumbra afecte el abastecimiento de madera de plantación para tarima en el país (Francesco y Ruilova, 2011). El objetivo de esta investigación fue proponer una escala de severidad para cuantificar el avance del daño causado por la enfermedad desde los primeros meses de vida del árbol. La misma escala permite emitir una calificación por árbol, así como para toda la plantación. Esta escala fue diseñada de manera que sus categorías de severidad sean de utilidad operativa para la toma de decisiones oportuna en el manejo de las plantaciones de melina.

Material y métodos

Inicialmente, se realizó una evaluación de una colección de ensayos genéticos de *G. arborea* establecida en la región de Osa y Golfito, Pacífico Sur de Costa Rica, que habían sido severamente infectados por la enfermedad. Los sitios corresponden con la zona de vida Bosque Muy Húmedo Premontano Transición a Basal, con precipitación media anual entre 3000 a 7000 (mm*año⁻¹), temperaturas promedio anual de 22 a 28 C°, una luminosidad entre 5 a 7 horas/día, con suelos inceptisoles y entisoles (Rojas, 2011). *In situ*, se determinó el patrón de progreso de la enfermedad, observando síntomas morfológicos secundarios así como síntomas histológicos primarios para lo que se realizó un muestreo destructivo para realizar observaciones en el tejido vascular de los árboles.

Una vez definidas las categorías de severidad en cinco categorías, se visitó plantaciones comerciales de melina en la Península de Osa y en la región de San Isidro del General, Pérez Zeledón, donde se aplicó y validó la funcionalidad de la escala de severidad propuesta.

Posteriormente se evaluó siete ensayos genéticos de melina establecidos en la zona sur del país, localizados entre las coordenadas de latitud Norte entre 8°33'36,00" y 8°36'00,00" y longitud oeste -83°18'00,00" y -83°26'24,00" (Ávila y Murillo, 2012), identificados como Yadira Norte y Sur (YN y YS); y Susana Sur (SS), los cuales tenían 2,7 años, así como Amapola Norte y Sur (APN y APS); Finca Puntarenas Norte y Sur (FPN y FPS) con 4,7 años de edad al momento de la evaluación. De manera adicional, se evaluó evaluaron otras variables descriptivas con el fin de relacionar la expresión del grado de avance de la enfermedad con el diámetro a la altura del pecho (dap), la posición sociológica (dominante, codominante, intermedio o suprimido) y la calidad de las primeras 4 trozas comerciales (de 1 a 4), con base en la metodología “Evaluación de la calidad y estimación del valor en pie de la plantación forestal» propuesta por Murillo y Badilla (2004) y las categorías de severidad propuestas (en cinco grados del 1 al 5, donde 1 el mejor). Los síntomas de la enfermedad fueron evaluados en cada árbol, utilizando una caracterización binomial o tipo presencia/ausencia (Cuadro 1).

La calidad de las cuatro primeras trozas comerciales (2,5 m cada una) de cada árbol se evaluó en una escala de “1” a “4” según la metodología de Murillo y Badilla (2004), donde: calidad 1 o excelente, corresponde a una troza que no presenta defecto para uso industrial en aserrío; calidad 2 o muy buena, para aquellas trozas con defectos leves que disminuyen, pero no limitan severamente su potencial industrial; calidad 3 o aceptable, para trozas con limitaciones severas para aserrío pero permite aprovechar un 50 % del fuste; calidad 4 para trozas sin valor comercial industrial alguno, aquí se incluyeron las trozas en estado avanzado de pudrición.

Cuadro 1. Registro de las características dasométricas y de severidad de la pudrición del tronco de melina evaluadas en los ensayos clonales del Pacífico sur de Costa Rica.

Table 1. Register of quantitative traits and severity degree on stem-rot assessed in melina clonal trails in South Pacific of Costa Rica.

Evaluador: _____ Fecha de medición: _____

Árbol	Sintomatología y grado de severidad								Otros datos del árbol							
	San	Mar	Pef	Can	Exu	Reb	Sec	Pud	Grado de Sev (1-5)	(cm)	Pos Soc	Nºtroza comer. (2,5)	T1	T2	T3	T4
1						x	x		4	15,9	4	4	4	4	4	
2		x	x	x	x	x			3	21,3	1	1	3	3	3	4
3			x		x				2	14,0	3	3	2	1	2	
4								x	5	12,2	2	2	4	4	4	

San: sano; **Mar:** marchitez; **Pef:** pérdida foliar; **Can:** cancro; **Exu:** exudado; **Reb:** rebrote; **Pud:** pudrición; **Sec:** seco; **Sev:** Grados de severidad; **Pos Soc:** posición sociológica: dominante: 4; codominante: 3; intermedio: 2; suprimido: 1; **Calidad de trozas:** **T1:** calidad de troza 1, **T2:** calidad de troza 2; **T3:** calidad de troza 3; **T4:** calidad de troza 4 (calificados en una escala de 1 a 4).

Los datos de campo fueron digitalizados y analizados en Excel, mediante tablas dinámicas y cuadros comparativos, para determinar el comportamiento de los síntomas reportados para todos los árboles evaluados por edad. En cada ensayo se registró la distribución espacial de los individuos, mediante el uso de colores diferentes según su categoría de severidad propuesta y registrada: severidad 1 = blanco, 2 = beige, 3 = mostaza, 4 = papaya, y 5 = rojo.

Se determinó el valor de severidad promedio de cada clon, de cada procedencia y de cada sitio a través de un Índice de Severidad (*I.S.*), en una escala de “1” a “5” (ver ecuación 1). Este índice permitió calcular el porcentaje de incidencia de los síntomas por categoría de severidad. Así también se procedió a calcular el Índice de Incidencia promedio por procedencia y sitio, tal y como se muestra en la ecuación “2”, basado en los métodos de investigación fitopatológica de French y Hebert (1980). Para facilidad de análisis e interpretación, el Índice de Severidad se transformó en una escala porcentual positiva de “0” a 100, tal y como se muestra en la ecuación “3”.

$$I.I.\% = \left[\frac{\sum \text{enfermos}}{\sum \text{Total de Individuos}} \right] * 100 \quad (1)$$

$$I.S. = \left[\frac{\sum sv1 * 1 + \sum sv2 * 2 + \sum sv3 * 3 + \sum sv4 * 4 + \sum sv5 * 5}{\sum \text{Total de Individuos}} \right] \quad (2)$$

$$I.S.\% = -1 * [(1 - I.S.) / 4] * 100 \quad (3)$$

Resultados

La sistematización de la información recopilada en campo permitió organizar los resultados para identificar el orden y evolución de los síntomas para ser esquematizados en la escala de severidad propuesta. Los cuadros 2 y 3 registran cómo la acumulación de síntomas influye directamente en la variación y el aumento del grado de

severidad, hasta alcanzar el mayor grado en el cual el individuo muere en pie, momento en el que recibe una valoración de categoría cinco.

A los 2,7 años de edad las categorías de severidad grado “2”, “3” y “4” registraron un acumulado de síntomas que sigue claramente un patrón progresivo. Los resultados reflejan cómo en el grado de severidad “2” los principales síntomas fueron el inicio de pérdida foliar, marchitez, aparición de lloraderos y aparición de cancro o zona cancerosa, así como el crecimiento de los rebotes en el fuste. En la siguiente categoría de grado “3” se redujo la marchitez pero aumentó la pérdida foliar, el cancro y la exudación, y aparece de manera significativa la cantidad de rebotes desarrollados. En la categoría grado “4” la defoliación es prácticamente completa, los rebotes continúan y la pudrición del tronco predomina en un 75 % de la estructura del árbol.

Los árboles de 4,7 años mostraron el mismo patrón de aparición de síntomas y avance de la enfermedad (Cuadro 3). Como se observa en la categoría de severidad grado “2” los principales síntomas registrados fueron la aparición de cancos y de exudación; aparece también la marchitez y pérdida foliar, con valores muy similares que los árboles de 2,7 años. La categoría de severidad grado “3” registró síntomas mayormente en la aparición de rebotes, aumento en zonas con cancro y exudación; así también registra el inicio de la pudrición del tronco. En la categoría grado “4” un 100 % de los árboles evaluados registró la pudrición del tronco, junto con un 77 % de árboles con presencia de rebotes y un 60 % con cancro como se esperaba para esta categoría.

En la figura 1 se muestra el patrón de síntomas de las cinco categorías de grados de severidad de la pudrición del tronco en melina.

En el cuadro 4 se resume y sistematiza la sintomatología observada para cada categoría de grados de severidad propuesta, basada en la aplicación de la metodología

Cuadro 2. Presencia relativa de los síntomas de los árboles en cada categoría de grado de severidad de la pudrición del tronco de melina (*Gmelina arborea*), en plantaciones de 2,7 años de edad en el Pacífico Sur de Costa Rica.

Table 2. Relative presence of symptoms in trees for each stem-rot category of severity in *Gmelina arborea* plantations at 2.7 years-old, South Pacific, Costa Rica.

Severidad	Árboles evaluados	San	Mar	Pef	Can	Exu	Reb	Pud	Sec
1	2004	100 %							
2	163		29,0 %	52 %	37 %	29 %	17 %		
3	88		9,0 %	77 %	86 %	68 %	70 %	3 %	
4	163		0,6 %	17 %	29 %	18 %	94 %	94 %	
5	239								100 %

San: sanidad; **Mar:** marchitez; **Pef:** pérdida foliar; **Can:** cancro; **Exu:** exudados; **Reb:** rebrotes; **Pud:** pudrición; **Sec:** árbol seco. **Fuente:** Elaboración propia.

Cuadro 3. Presencia relativa de los síntomas de los árboles en cada categoría de severidad de la pudrición del tronco de melina (*Gmelina arborea*), en plantaciones de 4,7 años de edad en el Pacífico Sur de Costa Rica.

Table 3. Relative presence of symptoms in trees for each rot severity category in *Gmelina arborea* plantations at 4.7 years-old, South Pacific, Costa Rica.

Severidad	Árboles evaluados	San	Mar	Pef	Can	Exu	Reb	Pud	Sec
1	748	100 %							
2	63		21 %	21 %	67 %	56 %	17 %		
3	36		14 %	58 %	78 %	61 %	86 %	22 %	
4	30			40 %	60 %	27 %	77 %	100 %	
5	80								100 %

San: sanidad; **Mar:** marchitez; **Pef:** pérdida foliar; **Can:** cancro; **Exu:** exudados; **Reb:** rebrotes; **Pud:** pudrición; **Sec:** árbol seco. **Fuente:** Elaboración propia.

Cuadro 4. Escala propuesta para la calificación del grado de severidad de la pudrición del tronco de melina (*Gmelina arborea*).

Table 4. Proposed scale for scoring stem-rot severity degree in *Gmelina arborea*.

Grado de severidad	Síntomas
1	Árbol sano, no hay evidencia de síntomas visibles.
2	Marchitez foliar evidente; el fuste puede tener pequeñas heridas necrosadas y con exudación negra en sitios diferentes a donde hubo podas; puede iniciar la aparición de rebrotes. No todos los síntomas se expresan.
3	El árbol está visiblemente enfermo. Hay lesiones tipo cancro en la corteza con indicios de pudrición, exposición y abultamiento de la corteza, exudación prominente; pérdida de más de un 50 % del área foliar en un patrón progresivo; rebrotes desarrollados.
4	Afectación total del individuo; ausencia total de follaje; hay pérdida y desprendimiento evidente de ramas; aún se observan rebrotes en algunos sectores del tronco; la pudrición alcanza un 75 % del tronco, donde la zona cancerosa (cancro) se manifiesta con claridad
5	Árbol completamente seco, podrido; la madera ya perdió completamente su valor comercial.

Cuadro 5. Índices de Incidencia y Severidad de la pudrición del tronco en ensayos clonales de procedencias de *Gmelina arborea*, evaluados en el Pacífico sur de Costa Rica.

Table 5. Incidence and severity stem-rot indexes in provenances *Gmelina arborea* clonal trials, assessed in South Pacific, Costa Rica.

Índices	Ensayos							Promedio norte	Promedio sur
	APN	APS	YN	YS	FPN	FPS	SS		
Índice de severidad	18,58	24,80	1,13	20,68	5,92	2,16	22,58	8,54	17,55
Índice de incidencia	27,40	33,87	3,38	30,44	12,80	8,74	31,74	23,54	26,20

APN: Amapola Norte; **APS:** Amapola Sur; **YN:** Yadira Norte; **YS:** Yadira Sur; **FPN:** Finca Puntarenas Norte; **FPS:** Finca Puntarenas Sur; **SS:** Susana Sur.



Figura 1. Principales síntomas de la pudrición del tronco de melina según su categoría de severidad en ensayos clonales de *Gmelina arborea* en el Pacífico Sur de Costa Rica.

Figure 1. Main symptoms of severity categories on rot-stem in *Gmelina arborea* clonal trials, South Pacific, Costa Rica.

en siete ensayos, de edades y condiciones de sitio diferentes. La escala se definió en cinco categorías, donde la categoría “1” correspondió con un árbol completo y visiblemente sano (0 % de afectación), mientras que la categoría “5” le correspondió al árbol muerto o podrido en pie, sin ramas y con un proceso de pudrición avanzado que ha degradado inclusive la madera hasta dejarla sin ningún valor comercial. Las categorías de severidad grado “2”, “3” y “4” se asociaron a grados crecientes de manifestación de la enfermedad.

La figura 2 presenta el comportamiento espacial de la enfermedad utilizando un gradiente de colores, según el grado de severidad en uno de los bloques del ensayo genético evaluado. Puede observarse un patrón de avance y de formación de conglomerados alrededor de un grupo de individuos con categorías de grado de severidad “4” y “5”, cercanos o rodeados casi siempre de individuos con grado de severidad “2” y “3”, probablemente infectados por los más enfermos. Puede notarse que es muy poco frecuente encontrar un individuo con grado de severidad “4” ó “5” completamente aislado o rodeado de árboles con categoría de grado de severidad “1”. Los espacios vacíos corresponden a árboles faltantes al momento de la evaluación.

Los resultados de la estimación del Índice de Incidencia reflejan que, de los siete ensayos evaluados, tres registraron porcentajes de incidencia en un tercio (33 %) de los árboles en pie (Amapola Sur, Yadira Sur y Susana Sur en Cuadro 5). Los materiales de la procedencia sur registraron en promedio una incidencia levemente superior a los de la procedencia norte. Sin embargo, si se evalúa con base en la severidad de la enfermedad, en los ensayos con materiales procedentes de la zona sur su valor se duplica (Cuadro 5).

Los ensayos de 2,7 años fueron raleados con el objetivo principal de conservar para la cosecha final al menos un individuo representante por cada clon, en cada ensayo, elegido por sus mejores características para dar continuidad a la selección de los mejores genotipos. Sin embargo, debido a los esfuerzos por reducir el avance de la enfermedad, se eliminaron todos los árboles que presentaron algún síntoma en la primera evaluación. Como era de esperar, los índices de incidencia y severidad disminuyeron significativamente después del raleo, por lo tanto solo se incluyeron los resultados de los sitios Yadira Norte y Sur. En estos dos sitios los Índices de severidad e incidencia registraron una disminución

Cuadro 6. Impacto del raleo sanitario en los índices de incidencia y severidad de la pudrición del tronco en plantaciones clonales de *Gmelina arborea*, Pacífico sur de Costa Rica.

Table 6. Impact of a health thinning on rot-stem incidence and severity indexes in clonal plantations of *Gmelina arborea* in South Pacific, Costa Rica.

Índices	Yadira Norte		Yadira Sur	
	Antes	Después	Antes	Después
Severidad	1,13	0,87	20,68	6,7
Incidencia	3,38	2,74	30,44	14,85

5	1	4	1	5	4	1	1		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	2	1	1	1	1	1		4	
3	1	1	1	1	1	5	5	1	1
2	4	1	5	1	1	1	1	1	1
3	1	1	4	1	1	1	1	1	
1	1	1		1	1		1		1
2	1	1	1	1	4			1	1
4		4	1	1	1	1	1	5	3
4	4	1	1	1	1	5	1	1	1
1	4	1	1	1	1	2	5	1	1
5	4	4	4	1	3	1	1	1	1
5	1	4	4	1	1	1			
2		4	5	3	1	1	1		
2	1	4	4	4	5			1	
2	1	5	5	4	1	1			
1		4	5	2	2	5	2		
1	1	1	5	4	1	1	5		

Figura 2. Distribución espacial de categorías de grado de severidad de la pudrición del tronco de melina en ensayos clonales en el Pacífico Sur de Costa Rica.

Figure 2. Spatial distribution of stem-rot severity categories in a melina clonal trial in South Pacific, Costa Rica.

significativa, como resultado del raleo sanitario (Cuadro 6). La intensidad del raleo fue de 35,3 % de los árboles en pie para el ensayo con los materiales procedentes de la zona norte y, de una intensidad de un 46,5 % para los ensayos con materiales de la zona sur.

Discusión

Las cinco categorías de la propuesta metodológica para evaluar el porcentaje de severidad de la enfermedad conocida comúnmente como la pudrición del tronco de la melina, coincidió con la sintomatología observada sistemáticamente en todas las plantaciones muestreadas, por lo que demostró ser objetiva, funcional y de fácil utilización.

El comportamiento de los síntomas en los árboles evaluados presentó un patrón consistente en los siete ensayos investigados. Los resultados fueron muy consistentes y evidenció la validez de la escala de grados de severidad propuesta. Durante la realización del estudio, no se presentaron discrepancias o ambigüedades en la asignación de ninguna de las categorías de severidad.

Es importante destacar que en la evaluación de la marchitez se observó un comportamiento semejante en árboles sanos, esto por el efecto de la época seca, donde se generan las altas temperaturas y disminución de agua. Esta situación puede confundir al evaluador con respecto a este síntoma, por ello la importancia de tener este factor en cuenta.

Méndez (2011), propuso una metodología de valoración de la enfermedad en melina, la cual se enfocó en el comportamiento del follaje y en la aparición de rebrotes en el fuste en cuatro categorías. Sin embargo, el detalle para identificar la relevancia de los síntomas iniciales tales como la aparición de canchales, exudaciones en el fuste, pudrición del tronco y marchitez deben ser incluidos para marcar la aparición y desarrollo de la enfermedad, proporcionando el medio necesario para tomar decisiones y a tiempo corregir problemas que podrían llegar a ser muy severos.

En los ensayos de 2,7 años de edad, la población de 163 árboles calificados con grado de severidad “2”, registró un 29 % con marchitez y 52 % con pérdida foliar, lo que evidencia la relevancia de utilizar la marchitez y la pérdida foliar como los primeros signos de aparición de esta enfermedad en *Gmelina arborea*. Es importante destacar que esto puede variar en árboles de mayor edad, ya que se pudo observar el follaje completamente sano y presencia de rebrotes en el fuste, o pequeñas zonas con exudación y formación inicial del cancro, en árboles de 4,7 años.

Para la aplicación de esta escala debe enfatizarse y asegurarse que la aparición de los “lloraderos” o zonas de exudación se manifiesta en sectores del fuste distintas a los sitios donde se realizó alguna poda de ramas. En estos sitios pueden ocurrir otros procesos de cicatrización o de infección diferentes a la presencia de esta enfermedad y podrían confundir la calificación de severidad.

Según Arguedas (2004), los rebrotes emergen en la parte inferior del fuste donde se generó la zona de exudación y desarrollo del cancro. En el momento en que los rebrotes obtengan un desarrollo considerable acompañado de una pérdida foliar mayor al 50 % y la estructura cancerosa cubra la circunferencia del tronco, se califica con grado de severidad “3”, ya que el proceso de pudrición es inminente, lo que genera que la madera puede tener un menor valor de utilización en aserrío debido al inicio del proceso de manchado por el hongo.

En la categoría de severidad grado “4”, la pudrición del tronco es tan avanzada que la madera está seca y no tiene valor comercial para aserrío, debido a la mancha del hongo, aunque puede ser aprovechada su biomasa como combustible u otros. Los rebrotes son una manifestación evidente del estrés que sufre el patógeno actuando bloqueando el sistema vascular, lo que provoca que los fluidos internos busquen una salida, que puede provocar los exudados reportados, como medida de sobrevivencia o reacción al ataque del patógeno. El árbol muere, la pudrición alcanza la máxima categoría de grado de severidad “5” y se califica con un 100 % de daño. Hay exposición y apertura de la corteza a lo largo de todo el fuste y un proceso generalizado de colonización de hongos xilófagos.

Esta escala diagramática de valoración de la severidad propuesta es sencilla de aplicar, sin embargo el conocimiento y comprensión en la identificación de los síntomas es fundamental. El sesgo de la interpretación humana siempre va a estar presente por ser una evaluación visual, tal y como lo estipula la ley de Weber-Fechner ajustada por Horsfall & Barratt, citados por Castaño (2002). De donde se interpreta que la subestimación o sobreestimación va a estar siempre presente en ejercicios de esta naturaleza. No obstante, la capacitación y entrenamiento es esencial para reducir el grado de subjetividad y error humano en su aplicación.

Por medio del registro espacial de los árboles enfermos y su grado de severidad, se pudo visualizar patrones de avance de la enfermedad, donde las categorías de grados de severidad «4» y «5» rara vez se presentan aisladas en sectores donde todos los árboles son sanos, lo que muestra el patrón progresivo de la enfermedad. Al analizar genotipos, se puede especular acerca de clones con potencial de tolerancia genética contra la enfermedad que los afecta. El uso de los índices de severidad e incidencia permitió valorar y calificar las plantaciones clonales evaluadas, de manera objetiva y cuantitativa, lo cual facilita la toma de decisiones en relación con su posible manejo. Estos parámetros permiten estimar el grado de avance de la enfermedad. Evaluaciones sucesivas en el tiempo permiten determinar el progreso de la patología o su valor epidemiológico.

Los sitios de ensayo Amapola Norte y Yadira Norte se encuentran separados por una distancia de 150 m, donde se registraron valores de severidad e incidencia muy distintos, a pesar de compartir genotipos. Sin embargo, es importante mencionar que los ensayos en Yadira Norte tenían 2,7 años de plantados, mientras que los de Amapola Norte tenían 4,7 años, determinando que los ensayos en Yadira Norte presentó el índice de severidad e incidencia más bajo 1,1 % y 3,4 % respectivamente, a diferencia de Amapola Norte que registró un 18,6 % de severidad y un 27,4 % de incidencia, a pesar de que este sitio tiene menos drenajes y presenta suelos arcillosos,

lo que pudo favorecer una mayor susceptibilidad de los árboles y mayor afectación.

El ensayo Yadira Sur reportó índices de severidad e incidencia de 20,7 % y 30,4 % respectivamente y se localiza contiguo al ensayo Yadira Norte. Estas diferencias entre sitios no parecen poderse explicarse por un mejor drenaje en el sitio, ya que ambos tienen problemas severos de eliminación del agua en el suelo. Así que de manera hipotética se puede mencionar que valores más altos de afectación pudieron ser influenciados por las condiciones locales de suelo, debido a que anteriormente se cultivó arroz, actividad que pudo causar en el terreno el fenómeno conocido como «pie de arado», que consiste en un horizonte compactado debajo de la profundidad a la que llegan los discos del arado, que puede afectar de forma importante el drenaje interno (Ávila y Murillo, 2012).

Los ensayos Amapola Sur y Amapola Norte se establecieron casi simultáneamente, sin embargo registraron valores diferentes en los parámetros de severidad e incidencia del patógeno, aún en suelos con condiciones semejantes a los que si se enfermaron, pero con una densidad menor al momento de evaluación (APN 292 y APS 255 árboles). Esto significa que sin importar la densidad de la plantación, puede ser afectada de una manera severa si las condiciones así se lo permiten.

En los ensayos evaluados en Finca Puntarenas Norte y Sur se registró un índice de severidad de 5,92 % (clones del norte) y de 2,16 % (clones del sur) respectivamente. Mientras que el índice de incidencia fue de 12,8 % (clones del norte) y 8,74 % (clones del sur). Lo que muestra un patrón de mayor tolerancia a la enfermedad en el grupo de clones de procedencia Sur. Sin embargo, es importante mencionar que el sitio finca Puntarenas Sur, tuvo una buena preparación del suelo y se establecieron camellones (eras) (Ávila y Murillo, 2012), lo cual pudo favorecer estos resultados.

La utilización de la escala de severidad y los índices de severidad e incidencia, fueron de gran relevancia en la determinación del efecto del raleo en las plantaciones investigadas. Como se esperaba, los resultados permitieron determinar con precisión el impacto directo y positivo del raleo en la reducción de la severidad e incidencia de la enfermedad en los ensayos. Para el lote Yadira Norte, la severidad se redujo en un 23 % y la incidencia en un 18,9 %, mientras que para Yadira Sur la severidad disminuyó en un 67,6 % y la incidencia en un 51,2 %. Sin embargo, el verdadero efecto de esta práctica se observará en evaluaciones posteriores, las cuales reflejen el comportamiento de los árboles ante la presencia del patógeno que los afecta.

Conclusiones y recomendaciones

El proceso de definición de la escala en cinco grados de severidad y su validación en sitios diferentes, permitió identificar con claridad los síntomas iniciales (marchitez y pérdida foliar), síntomas posteriores (pérdida completa foliar y aparición de exudados), hasta la aparición de formación de cancro y el proceso final de pudrición.

La calificación visual de una sintomatología en grados de severidad, es un proceso que requiere de capacitación. De lo contrario, el grado de subjetividad puede aumentar significativamente y provocar diferencias importantes en la evaluación del grado de avance de la enfermedad en una plantación.

El uso de los índices es un procedimiento sencillo y preciso para determinar el grado de sanidad de una plantación con respecto a esta enfermedad. Esta metodología permite entonces generar una calificación sobre el estado de sanidad de una plantación o lote. La metodología propuesta mostró su facilidad de uso y seguridad para registrar de manera poco ambigua, el grado de severidad de la pudrición del tronco de la melina.

La evaluación periódica y sistemática de las plantaciones es fundamental para tomar decisiones de manera oportuna y con esto, tal vez sea posible controlar el avance de la enfermedad y obtener más tiempo para decidir sobre el futuro de la plantación.

Se recomienda por tanto, utilizar la escala propuesta de grados de severidad de la enfermedad en plantaciones de melina. Esto permitirá generar en poco tiempo, información de gran valor sobre el progreso o mejor control de la enfermedad en distintas regiones del país.

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

Agrios, N. (2008). Fitopatología. México: Limusa.

Alfaro, M. & De Camino, R. (2002). Melina (*Gmelina arborea*) in Central America. Forest Plantations Working Paper 20. Forest Resources Development Service. Forest Resources Division. FAO, Roma.

Arguedas, M. (2004). Problemas Fitosanitarios de la melina (*Gmelina arborea* (Roxd)) en Costa Rica. *Kurú: Revista Forestal*, 1(2), 1-9.

Arguedas, M. (2003). Problemas Fitosanitarios en Teca (*Tectona grandis* L.f.) en América Central: Nuevos reportes. En: Chavariaga, D. (Ed). *Protección Fitosanitaria Forestal, Colombia*. 229p.

Arguedas, M., Chaverri, P. y Millar, C. (1995). Cancro *Nectria* en especies forestales. Serie Plagas y enfermedades forestales no.18, 8. Cartago, Costa Rica: ITCR-CIT.

Ávila, C. y Murillo, R. (2012). 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). Heredia, Costa Rica: INISEFOR-UNA.

Badilla, Y., Murillo, O., Azofeifa, M. y Obando, G. (2003). Avances en Reforestación Clonal en Costa Rica. En: V Congreso Forestal Nacional. San José, Costa Rica.

Balcorta, H. y Vargas, J. (2004). Variación Fenotípica y selección de árboles en una plantación de melina (*Gmelina arborea* Linn., Roxb.) de tres años de edad. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(2), 13-19.

Boa, E. (2008). *Guía ilustrada sobre el estado de los árboles: Reconocimiento e interpretación de síntomas y daños*. San Salvador, El Salvador: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). Recuperado de <http://www.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/BibliotecaVirtual/GUIAFAOOIRSAoct08.pdf>

Castaño, J. (2002). Principios básicos de Fitoepidemiología. Colombia: Universidad de Caldas.

Chacón, P. y Murillo, O. (2005). Análisis comparativo de la producción de minijardines clonales hidropónicos y jardines clonales en tierra de melina (*Gmelina arborea* Roxb.). *Kurú: Revista Forestal*, 2(6), 7.

Francesco, A. y Ruilova, S. (2011). Experiencias de control biológico y cultural de plagas forestales en Chile, con énfasis en *Sirex noctilio*. En: *Protección Fitosanitaria Forestal*. Recuperado de <http://www.edeca.una.ac.cr/files/Plagas%20y%20Enfermedades%20Forestales/Libro-Proteccion-Forestal2.pdf>

French, E. y Hebert, T. (1980). Métodos de investigación fitopatológica. 1a. ed. 1a. reimpresión. *Serie de libros y materiales educativos no. 43*. San José, Costa Rica: IICA.

Hilje, L., Cartín, V. y March, E. (2008). El combate de plagas agrícolas dentro del contexto histórico costarricense. En *Manejo integrado de plagas en Mesoamérica: aportes conceptuales*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Kumar, A. (2007). Growth performance and variability in different clones of *Gmelina arborea* (Roxb.). *Silvae Genetica*, 56, 32-36.

Matarrita, L., Sandoval, J. y Arguedas, M. (2006). Prevalencia de la roya *Olivea tectonae* (Rac.) en la teca (*Tectona grandis* L.F.) en Costa Rica. *Kurú: Revista Forestal*, 3(9).

Méndez, A. (2011). *Evaluación de tratamientos para el manejo de Nectria sp. en plantaciones de Gmelina arborea en Santa Rosa de Pocosal, Alajuela*. (Tesis Licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica: Cartago, Costa Rica.

- Murillo, O. y Badilla, Y. (2004). Evaluación de la calidad y estimación del valor en pie de la plantación forestal. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Murillo, O. y Guevara, V. (2013). Estado de los recursos genéticos forestales de Costa Rica. San José, Costa Rica: MINAET/FAO/CONAGEBIO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, Representación en Costa Rica.
- Murillo, O., Obando, G., Badilla, Y. y Azofeifa, M. (2003). Creación de GENFORES, una cooperativa de mejoramiento genético forestal en Costa Rica. En: V Congreso Forestal Nacional. San José, Costa Rica.
- Oficina Nacional Forestal (ONF). (2013). Usos y Aportes de la Madera en Costa Rica: Estadísticas 2012. San José, Costa Rica. Recuperado de http://onfcr.org/media/uploads/documents/informe_usos_y_aportes_de_la_madera_2012.pdf
- Rojas, N. (2011). Cuenca: ríos Península de Osa. Puntarenas. Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Costa Rica. Recuperado de http://cglobal.imn.ac.cr/sites/default/files/documentos/cuenca_rios_peninsula_de_osa_1.pdf
- Rojas, F., Arias, D., Moya, R., Meza, A., Murillo, O. y Arguedas, M. (2004). Manual para Productores de Melina (*Gmelina arborea*) en Costa Rica. Cartago, Costa Rica. Recuperado de http://www.fonafifo.go.cr/text_files/proyectos/Manual%20Prod%20Melina.pdf
- Salas, R. (2012). *Evaluación de un ensayo genético de Gmelina arborea en Siquirres, Limón. (Tesis de Licenciatura).* Instituto Tecnológico de Costa Rica: Cartago, Costa Rica.
- Sistema de Información de Recursos Forestales (SIREFOR). (2011). Reporte estadístico forestal 2011. Eds. MI Chavarría Espinoza y M Castillo. San José, Costa Rica. Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo.
- Wee, A., Li, C., Dvorak, W. & Hong, Y. (2012). Genetic diversity in natural populations of *Gmelina arborea*: implications for breeding and conservation. *New Forests*, 43, 411-428.