

Severidad de la “Pudrición del tallo” en vivero sobre una colección genética de *Gmelina arborea* Roxb.

Severity of “Stem rot” in a genetic collection of nursery seedlings of *Gmelina arborea* Roxb.

Andrés Carvajal-Ruiz¹  • Carlos Ávila-Arias²  • Rafael Murillo-Cruz²  • Priscila Chaverri-Echandi³ 

Recibido: 16/4/2020

Aceptado: 17/7/2020

Publicado: 17/12/2020

Abstract

The objective of this research was to determine the level of susceptibility of nine genotypes of *Gmelina arborea* Roxb to the appearance of the disease called here “Stem rot.” A diagrammatic scale was developed to measure the severity of the attack of the pathogen on vegetatively propagated seedlings. For this purpose, four thousand plants were checked and monitored for the first symptoms of the disease to understand the development of the pathology. The scale was applied to 100 plants of each of the nine clones produced to validate it. Statistical analysis was then used to determine the differences between genotypes. The first signs of the disease are spots, stretch marks, and/or small necrotic areas usually at the base of the stem. These evolve until the stem rots, compromises its rigidity, breaks, and the plant dies. Based on this, the proposed diagrammatic scale consists of four degrees of severity of the damage, i.e., starts from “0”, a plant free of visible symptoms, and culminates in “3”, which is when the stem has rotted and the plant died. Statistical analyses suggest a genetic effect in terms of the susceptibility of the manifestation of the pathology, by identifying clones 16 and 8, and 15 and 1, as those with low and high susceptibility to the disease, respectively. Despite registering relatively low incidence and severity values, actions must be taken to prevent its occurrence, or otherwise, control it.

Key words: Severity, incidence, vegetative reproduction, clones, disease, Costa Rica.

1. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica. carvajalra94@hotmail.com

2. Instituto de Investigación y Servicios Forestales, Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica.
carlos.avila.arias@una.cr; murillorafael5454@yahoo.com

3. Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica. San Pedro, San José, Costa Rica. priscila.chaverriechandi@ucr.ac.cr

Resumen

El objetivo del estudio fue determinar el nivel de susceptibilidad de nueve genotipos de *Gmelina arborea* Roxb. a la aparición de la enfermedad aquí denominada “Putridión del tallo”. Para ello, se desarrolló una escala diagramática con la cual medir la severidad del ataque de dicha enfermedad en plántulas reproducidas vegetativamente. Se revisaron 4 000 plantas en busca de los primeros síntomas y se les dio seguimiento para entender el desarrollo de la patología. Como validación, se aplicó la escala diagramática a 100 plantas de cada uno de los nueve clones, producidas para tal fin. Los primeros indicios de la enfermedad son puntos, estrías y/o manchas por lo general en la base del tallo, los cuales evolucionan hasta pudrirlo y quebrarlo, con lo que la planta muere. La escala diagramática propuesta consta de tres grados de severidad del daño, parte de un nivel “0” donde no hay síntomas visibles y culmina en el grado “3”, cuando el tallo del individuo se ha podrido y desencadena su muerte. El análisis estadístico identificó diferencias entre genotipos, lo que sugiere un efecto genético en cuanto a la susceptibilidad de la aparición de la patología. Se identifica a los clones 16 y 8 así como al 15 y 1 como los de susceptibilidad baja y alta a la enfermedad, respectivamente. A pesar de registrarse valores de incidencia y severidad relativamente bajos, se deben tomar acciones para evitar su aparición o en su defecto, controlarlo.

Palavras-chave: Severidad, incidencia, reproducción vegetativa, clones, enfermedad, Costa Rica.

Introducción

A partir de los años noventa se han implementado en Costa Rica diversas iniciativas ligadas al mejoramiento genético de especies forestales. Dicho proceso inició con huertos semilleros, para luego enfocar esfuerzos hacia una silvicultura clonal actualizada y sistematizada en paquetes tecnológicos para el establecimiento y manejo intensivo de sistemas de producción forestal [1, 2, 3]. Lo anterior en función tanto del uso como la conservación de los genotipos mejor adaptados a condiciones específicas de sitio, o resistentes a enfermedades, y, con ello, que los distintos sistemas registren indicadores productivos y financieros lo suficientemente atractivos que incentiven su uso a escala comercial [4, 5, 6].

Distintos autores han generado un amplio espectro de conocimiento científico acerca de la especie *Gmelina arborea* Roxb, desde técnicas de propagación hasta sistemas novedosos para su cultivo intensivo en sitios

específicos [7, 8, 3, 9, 10, 11]. A partir de ello se ha logrado la reducción de costos de producción y garantizar material clonal de la calidad y cantidad requeridas para el mercado [12, 13, 14]; así como la determinación de períodos óptimos de enraizamiento de la especie, tomando en cuenta diámetro y altura de los esquejes [15] y la evaluación del área foliar adecuada para maximizar el enraizamiento de la melina [16].

A pesar de dichos esfuerzos, aún existen vacíos de información en la reproducción clonal vegetativa de la especie, por ejemplo, la selección de genotipos resistentes a enfermedades, variabilidad genética y selección de controladores químicos y/o biológicos eficaces para distintas enfermedades, entre otros [15]. Estas carencias adquieren suma importancia en la estandarización del proceso, máxime ante el rol que, hoy en día, ha asumido para la industria de la multiplicación de plantas de alta calidad.

En Costa Rica, *G. arborea* se ha convertido en una de las especies forestales que más se establece con fines comerciales debido a su rápido crecimiento, gran adaptabilidad a diferentes sitios, y madera muy versátil para la elaboración de productos primarios y secundarios [17, 18, 19, 20]. Sin embargo, ningún proceso tendiente a generar altos rendimientos está exento de riesgos y situaciones de mejora, y la silvicultura clonal no es la excepción. Por ejemplo problemas fitosanitarios, causados por patógenos inherentes o los que puedan desarrollar la capacidad de infectarla, son parte de los riesgos que pueden causar la muerte parcial o total del individuo, o afectar la calidad del producto [20, 21, 22]. [23] apunta que, la propagación asexual a partir de brotes tiernos o estacas predispone a las especies a presentar problemas fitopatológicos. Es precisamente la etapa de plántula la más delicada, donde se reportan la mayor parte de los ataques por hongos [8].

No obstante, distintos autores concuerdan que, la incidencia de plagas y enfermedades es más influenciada por las condiciones del vivero, el comportamiento del insecto o patógeno, las condiciones medio-ambientales e inclusive la excesiva cantidad de plantas en cada bandeja o contenedor, que propiamente si el material proviene de semilla (sexual) o reproducido mediante estacas [25]. Sin embargo, el desarrollo de problemas fitosanitarios en viveros de melina, que parecen haber ocasionado serios daños en plantación, se han visto incrementados grandemente con el uso de la reproducción vegetativa. Es decir, un material salido de vivero endeble, afectado por alteraciones morfológicas y fisiológicas como lesiones acuosas, clorosis, marchitamiento y podredumbre, causadas por agentes patógenos impactaría negativamente el desempeño de la plantación forestal [26, 20, 22]; además propiciaría

quedar expuesto al ataque de otros patógenos como *Nectria* sp. una vez establecido en campo [27, 28].

Para atender lo anterior, es trascendental tener claro que la administración de riesgos depende en gran medida de conocerlos y comprenderlos [29]. Para el caso en estudio, una vez identificado un problema fitosanitario, se debe entender y cuantificar con la mayor prontitud posible, para luego controlarlo; de tal manera que, no haya una interferencia significativa en el crecimiento de los individuos. Lo anterior se debe aplicar tanto en vivero como en campo, para lo cual se puede recurrir ya sea a agentes de control químico o biológico [30], o de ser posible mediante un manejo integrado de la situación. Adicionalmente, la susceptibilidad o tolerancia de los distintos genotipos hacia agentes patógenos debe ser tomada en cuenta como un aspecto primordial en el mejoramiento de los procesos.

El Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional (INISEFOR) posee y multiplica una colección de nueve genotipos de melina. En los últimos ciclos de producción vegetativa se han registrado entre un 5 % y 10 % de las plantas que presentan una pudrición en la base del tallo de las plantas, precedida por distintos síntomas y signos que se considera es imprescindible registrar e identificar cuanto antes. Lo anterior en concordancia con [31], los cuales llaman la atención sobre el peligro que representan las enfermedades fungosas en vivero, y más aún, si se identifican materiales genéticos más sensibles que podrían llegar a ser devastados. Es por ello, y todo lo anteriormente apuntado, que el presente trabajo se planteó el objetivo de determinar si existen diferencias entre genotipos de melina en cuanto a su tolerancia o susceptibilidad al ataque de la enfermedad aquí denominada “Pudrición del tallo”, registrada en plántulas de melina clonal en fase de vivero. Los resultados generados en este estudio servirán como un insumo para el mejoramiento del paquete de reproducción clonal vegetativa aplicado a la especie, el cual debe evolucionar permanentemente en la búsqueda de producir material vegetal de alta calidad y sanidad

Materiales y métodos

Área de estudio y material evaluado

La investigación se desarrolló en el vivero de reproducción vegetativa “La Amapola” del INISEFOR, ubicado en la provincia Puntarenas, cantón Golfito, distrito Puerto Jiménez y localidad La Palma (coordenadas geográficas N 8°36'49” y W 83°26'10”). La precipitación media anual del sitio varía entre 3500 mm y 4000 mm, se encuentra en el piso basal tropical, con una temperatura media anual que varía entre 24 °C y 28 °C [32] y en la zona

de vida Bosque muy húmedo premontano transición a basal [33].

Las plantas evaluadas en la presente investigación fueron reproducidas a partir de la colección clonal de melina del INISEFOR, la cual consta de nueve genotipos utilizados en el establecimiento de sistemas de producción forestal y agroforestal. Los individuos fueron evaluados en dos distintas etapas, según la metodología requerida en cada uno.

Construcción de la escala diagramática

La metodología empleada para el desarrollo de la escala diagramática se basó, inicialmente, en la experiencia adquirida por parte de los investigadores a cargo del vivero. Lo anterior debido a que, la patología muy temprana de la enfermedad corresponde a la presencia de manchas claras, puntos y/o estrías pequeñas, así como necrosis basal, los cuales resultan apenas visibles. [31] recalcan la necesidad que este tipo de observaciones preliminares se conviertan en ensayos científicamente planificados.

Con el recuento de los primeros indicios de la enfermedad como punto de partida, se evaluaron cuatro mil plantas provenientes de tres producciones distintas de material clonal; todas en la etapa del proceso de reproducción vegetativa denominada aclimatación, es decir, inmediatamente después de salir de los túneles de enraizamiento y antes de la etapa de endurecimiento para salir a campo. En este momento las plantas se encuentran en jiffy colocadas en bandejas a nivel del suelo, a 3 m sobre ellas tienen un sarán de 75% de sombra que filtra la luz que penetra el plástico del invernadero y una altura promedio de 10 cm por encima del sustrato. Se revisaron, una por una, todas las plantas, y se seleccionaron aquellas que presentaron algún posible síntoma del inicio de la enfermedad. Posteriormente, se clasificaron y agruparon según síntomas y grado de afectación similar. Finalmente, se dejaron en grupos de al menos 15 plantas por indicio temprano y grado de afectación de la enfermedad. De la misma manera, se seleccionaron 5 grupos de plantas que no registraron ningún síntoma, en apariencia sana, como testigo del ensayo experimental.

Todo el material se colocó en bandejas separadas y se dio seguimiento diario a la evolución de los eventuales síntomas iniciales identificados, y con ello determinar cuál de ellos desencadenaban en la etapa final de la enfermedad, que necesariamente debía corresponder al tope máximo de la posible escala diagramática, es decir, la pudrición del tallo y consecuente muerte del individuo. La Figura 1 presenta tres distintas imágenes que corresponden a ese grado final de la enfermedad. Según [22] y [34], se trataría de un patógeno que se



Figura 1. Síntomas del estado avanzado de la enfermedad Pudrición del tallo.

Figure 1. Symptoms of Stem rot advanced stage.

caracteriza por presentar síntomas necróticos. Con base en la evolución de los síntomas iniciales identificados se generó la escala, mediante la cual se determina el nivel de afectación que registra cada individuo que sea evaluado.

Determinación del Índice de Incidencia y Severidad entre genotipos del conjunto genético evaluado

Una vez generada la escala, se reprodujeron y evaluaron 100 plantas de cada uno de los nueve clones que comprenden la colección genética. El total de 900 plantas se colocaron en 10 bloques de 90 individuos cada uno, que corresponden a 10 plantas de cada genotipo. La evaluación sobre cada rameto se basó en las siguientes variables dependientes:

1. Índice de Incidencia (I.I. %): Corresponde a la presencia o ausencia de la enfermedad (valorado con 1 ó 0, respectivamente), a partir de lo que se obtendrá el porcentaje de plantas que registraron síntomas por cada clon, similar a la metodología empleada por [10] (ver ecuación 1).

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

2. Índice de Severidad (I.S.): Se determinó a partir de la aplicación de la escala desarrollada y mediante una modificación a la fórmula planteada por [10]. Con base en esta variable, se evidenciaron las posibles diferencias entre genotipos en cuanto al daño provocado por la enfermedad (ver ecuación 2). Para facilidad de análisis e interpretación, el valor obtenido por medio de la escala (valores absolutos entre 0 y 3) se transformará en una escala porcentual positiva de "0 a 100" (ver ecuación 3).

$$I.S. = \left(\frac{\sum sv0*1 + \sum sv1*2 + \sum sv2*3 + \sum sv3*4}{\sum \text{Total de individuos}} \right) \quad (2)$$

$$I.S. \% = -1 * \left(\frac{1-I.S.}{3} \right) * 100 \quad (3)$$

Donde:

$\sum sv$ = Es la sumatoria del valor de severidad de cada uno de los grados de severidad

I.S. = Es el resultado arrojado por el índice de severidad

Dichas variables fueron evaluadas al finalizar la etapa de endurecimiento, es decir, aproximadamente a la semana seis posterior a haberse colocado el material en el túnel de enraizamiento, justo cuando están listas para ir a campo. En esa etapa las plantas reciben toda la luz que penetra el plástico del invernadero, tienen riego restringido según el protocolo para generar cierto nivel de estrés que las prepare para las posibles condiciones de campo y registran una altura promedio entre 15 cm y 20 cm. Es en este momento que se clasificaron los clones en tolerancia alta, media y baja a la enfermedad.

Finalmente, a la información recopilada sobre incidencia y severidad por clon (variables dependientes) se le realizó un Análisis de Varianza y Prueba de Medias de Tuckey mediante el software InfoStat/L [35], con base en las cuales se identificaron las diferencias estadísticamente significativas entre genotipos ($p < 0,05$).

Resultados y discusión

Sistematizar la información obtenida de la evaluación de las plantas de melina clonal permitió organizar secuencialmente la sintomatología de la enfermedad, para posteriormente ser esquematizados en la escala de severidad propuesta. En términos generales, el 7 % (280) de las cuatro mil plantas evaluadas para la construcción de la escala diagramática, presentó alguno de los síntomas iniciales de la enfermedad. Este valor se encuentra en el rango observado previamente por los investigadores a cargo del proceso de reproducción vegetativa de la melina en el vivero La Amapola. El valor de incidencia se considera bajo, si se compara con el 30 % reportado por [25], para la enfermedad de ruptura de la base del tallo en melina clonal asociada a *Sclerotium* sp. en la India. Se registró el porcentaje de aparición de cada uno de los indicios de la enfermedad, sólo o combinados (Figura 2).

En esas 280 plantas, el síntoma que más se repitió fue la presencia de estrías, seguido por manchas de color marrón claro a oscuro y puntos de diversos tamaños (42 %, 24 % y 11 %, respectivamente). Asimismo, se presentó la combinación de síntomas, 13 % de las plantas registraron estrías y manchas de color marrón, 4 % con la presencia de puntos y estrías, y finalmente en un 2 % la aparición de los tres principales síntomas

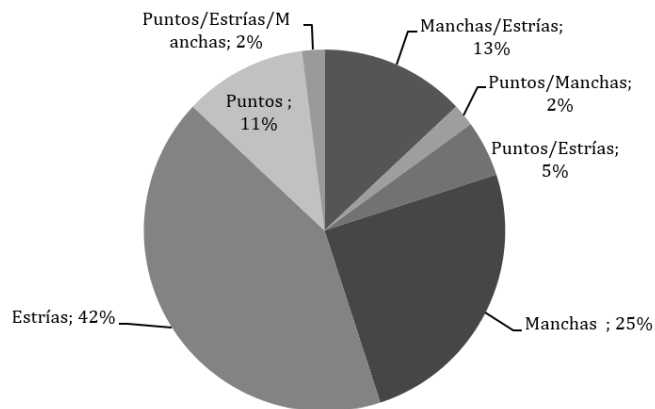


Figura 2. Porcentaje de los síntomas de la enfermedad presentados en la población evaluada de *Gmelina arborea* Roxb.

Figure 2. Percentage of symptoms of the disease presented in the evaluated population of *Gmelina arborea* Roxb.



Figura 3. Escala diagramática del avance de la “Pudrición del tallo” en plántulas de melina clonal en el vivero del INISEFOR en La Palma de Puerto Jiménez, Pacífico Sur de Costa Rica.

Figure 3. Diagrammatic scale of the progress of “Stem Rot” in clonal melina seedlings at the INISEFOR nursery in La Palma, Puerto Jiménez, South Pacific of Costa Rica.

(puntos-estrías-manchas). Estos síntomas concuerdan con lo reportado por [8] para la enfermedad del cuello de la raíz en plantas entre uno y dos meses de edad y además para un tipo de antracnosis en individuos de cuatro meses, ambas en melina y en vivero.

A partir de lo observado, la evolución sintomatológica parte de cambios en la coloración del tejido epidérmico, así como puntuaciones y/o estrías longitudinales. La Figura 3 presenta la escala diagramática generada para determinar el grado de avance de la enfermedad, de manera que se pueda determinar la severidad en cada individuo evaluado. En la mayoría de las plantas

evaluadas los síntomas inicialmente aparecen en los primeros 2 cm por debajo de la parte superior del Jiffy, esto resulta de suma importancia conocerlo, evidencia la necesidad de revisar el tallo de la planta inclusive por debajo del sustrato para asegurar que no haya síntomas. Por otra parte, en sus inicios, la afectación del patógeno es superficial, por lo que en su primera etapa no compromete la rigidez del tallo.

Según la escala generada y presentada en la Figura 3, en la primera etapa de afectación (Grado 1), las manchas tienen una forma asimétrica de coloración café claro que no cubre más de un tercio de la circunferencia del tallo. Por lo general, en este primer nivel aún no se presentan estrías, ya sean longitudinales o forma de punto. No obstante, en caso de presentarse, éstas tienden a ser de un color oscuro y no más largas a 0,5 cm. La estría longitudinal abarca un tamaño que no supera más de un tercio de la circunferencia del tallo. Las estrías con forma de punto tienden a ser muy pequeñas, con un diámetro igual o inferior a 0,1 cm. En caso de presentarse alguna de las estrías descritas, éstas no tienen secreción de líquidos a simple vista o con lupa (30x).

El Grado 2 de la enfermedad se caracteriza por una zona de afectación que se extiende hasta abarcar dos terceras partes de la circunferencia del tallo; las zonas necrosadas pueden avanzar tanto en sentido longitudinal como radial. En este punto no se encuentran indicios aislados, sino que aparecen combinaciones de dos o inclusive los tres síntomas reportados. Asimismo, en la zona afectada se puede observar la secreción de un líquido claro como respuesta del árbol ante las heridas sufridas, las cuales registran una mayor profundidad del daño y causan la afectación en la rigidez del tallo.

En la etapa final (Grado 3), la infección compromete en su totalidad la zona basal del tallo, por lo que cede y se quiebra, con lo que finalmente se genera el deceso de la planta. La coloración de la zona varía entre marrón oscuro a negro. Los individuos infectados no presentaron, en ninguna de las fases anotadas, daños o cambios en la composición, coloración o estructura tanto de las hojas como de las raíces del individuo, aun en este último nivel. Este resultado sugiere la necesidad de no basar la evaluación de sanidad de plantas de melina clonal en sólo la observación de su follaje, con lo que resulta indispensable revisarlas en la base de los tallos y un poco más abajo, antes de colocarlas en las cajas donde serán transportadas al sitio de plantación.

El Cuadro 1 presenta los distintos niveles de la enfermedad, sistematizados mediante la escala diagramática generada en la evaluación de 4 000 plántulas de melina clonal. El Grado 0 correspondió a un esqueje completamente sano, es decir, sin ningún tipo de evidencia de daño; mientras que el Grado 3 corresponde

Cuadro 1. Escala diagramática para categorizar la severidad de la pudrición del tallo en plántulas de melina clonal.

Table 1. Diagrammatic scale to categorize the severity of stem rot in clonal melina seedlings.

Grado de severidad	Síntomas asociados
0	Una planta sana, no hay evidencia de síntomas visibles.
1	Planta con estría longitudinal o conjunto de ellas. Tienen en la mayoría de las ocasiones una extensión de hasta 0,5 cm. Este indicio puede presentarse en una combinación con una mancha de coloración café que las envuelve. Planta con mancha que presenta forma asimétrica de coloración desde café claro hasta café oscuro, y que puede presentar casos con una combinación con estría en esta fase inicial.
2	La zona de afectación se extiende hasta abarcar las dos terceras parte de la zona basal del individuo, extendiéndose tanto en sentido longitudinal como radial, afectando así, la rigidez del tallo. Tiene una predominancia de estrías agrupadas de un tamaño mayor o igual a 0,5 cm. Con una mancha envolvente de color café oscuro. Evidencia secreción de líquido en la zona afectada.
3	La infección compromete en su totalidad la zona basal del tallo, el cual, lo deja sin rigidez y por tanto cede y quiebra generando así el deceso. La coloración de la zona es entre marrón oscuro a negro.

a una plántula con el tallo totalmente podrido, lo que desencadena la ruptura y muerte.

[10] mencionan que, al proponer una escala, la misma debe coincidir sintomatológicamente con las características expresadas por la enfermedad. Adicionalmente, los mismos autores agregan que debe ser objetiva, funcional y de fácil utilización. Al respecto, la generada en esta investigación logra registrar y entender el progreso de la enfermedad, y con ello evaluar el grado de severidad que provoca la pudrición del tallo en plántulas de melina clonal, con lo que se cumple con lo expresado por dichos autores. Además, en principio, la aplicación de la escala no depende del paquete tecnológico empleado en la reproducción vegetativa de la especie, el cual puede ser altamente tecnificado o un poco más artesanal, con lo que su ámbito de utilización sería muy amplio.

Una vez verificada la empleabilidad de la escala, se procedió a aplicarla sobre 100 plantas de cada uno de los nueve clones multiplicados por el INISEFOR.

Las diferencias en susceptibilidad en la aparición de la enfermedad entre genotipos se presentan en el Cuadro 2. En él se muestra que, ocho de los nueve clones evaluados registraron la presencia de síntomas iniciales de la enfermedad (incidencia) en menos del 30 % de sus plantas, únicamente el clon 1 presentó un valor superior.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la susceptibilidad de la aparición de la enfermedad entre clones. Los resultados sugieren tres grupos que se podrían catalogar como de baja, media y alta incidencia. Los clones 16 y 8 registraron los menores porcentajes de incidencia (10 % cada uno), además de sólo presentar plantas en los niveles 0 y 1 de la escala, por lo que se podrían denominar como de baja susceptibilidad a la aparición de la enfermedad. Caso contrario el 15 y 1, presentaron la mayor presencia de la enfermedad, con incidencia de 29 % y 38 %, respectivamente; por tal motivo son estadísticamente diferentes al 16 y 8, y adicionalmente catalogados como de alta susceptibilidad.

Los restantes cinco genotipos (12, 2, 9, 6 y 3) registraron valores de incidencia muy similares entre sí, por lo que se agrupan como de susceptibilidad media. El anterior resultado es de suma importancia al identificar que únicamente los clones 1 y 3 registraron plantas en el grado 3 de la escala, lo que apunta a dos posibilidades: la primera sería tener mayores cuidados y atención sobre su reproducción vegetativa, o la segunda, eliminarlos al menos momentáneamente de la colección clonal que se multiplica con fines de reforestación comercial. Al respecto, [29] apuntan la necesidad de ser muy cuidadosos con la producción de plantas que serán utilizadas en sistemas de producción forestal, al ser un posible foco en campo para que se esparzan distintos tipos de enfermedades, por lo que es indispensable tener un mayor entendimiento de los microorganismos, las posibles causas de patologías y su manejo.

Como es de esperar en un proceso patológico, la mayor parte de las plántulas que presentaron síntomas correspondientes a la presencia de la enfermedad se encontraron en el grado de severidad 1, donde resalta la aparición de estrías, puntos y/o manchas, que envuelven menos de un tercio de la circunferencia del tallo. A pesar de encontrarse plantas de seis clones catalogadas como de grado 2, fueron hasta un máximo de 3 individuos por cada 100 plantas evaluadas, lo que brinda posibilidades de actuar antes que las mismas migren a grado 3. Tanto [36] como [31] concuerdan en que el comportamiento mostrado en el ensayo es normal, al obtener un porcentaje de incidencia general para la población de 19 %, lo que los autores catalogan como relativamente bajo. Lo anterior se ratifica al comparar dicho resultado con el 30 % de incidencia del patógeno *Sclerotium* sp reportado por [25]. Esto por ser altamente resistente a

Cuadro 2 . Índices de Incidencia y Severidad de la “pudrición del tallo” por genotipo en plantas de melina clonal, evaluados en el vivero La Amapola, La Palma, Puerto Jiménez, Costa Rica.

Table 2. Incidence and Severity indices of stem rot per genotype in clonal melina plants, evaluated at the La Amapola nursery, La Palma, Puerto Jiménez, Costa Rica.

Clones	Severidad (plantas * clon ⁻¹)				Incidencia (%)	Índice Severidad	Índice Severidad (%)
	0	1	2	3			
16	90	10	0	0	10 a	1,10	2,5 a
8	90	10	0	0	10 a	1,10	3,0 ab
12	86	14	0	0	14 ab	1,14	3,5 ab
2	85	14	1	0	15 ab	1,19	4,8 ab
9	83	16	1	0	17 ab	1,18	4,5 ab
6	81	18	1	0	19 ab	1,20	5,0 ab
3	79	17	3	1	21 abc	1,26	6,5 ab
15	71	26	3	0	29 bc	1,32	8,0 bc
1	62	32	2	4	38 c	1,48	12,0 c
Promedio	81	17	1	0,5	19	1,21	5,5

condiciones desfavorables, con lo que consigue persistir en determinados momentos para posteriormente desarrollar la enfermedad [24].

Situación similar a la registrada en incidencia se presentó en la evaluación de la severidad (Cuadro 2). Los clones con el menor valor, es decir el resultado más favorable, son el 16, 8 y 12. Situación contraria para el 15 y 1, lo que es congruente con la incidencia descrita anteriormente. Los restantes cuatro genotipos registraron valores muy cercanos al promedio poblacional, lo que representa una ventana abierta de posibilidades para manejar con ellos esta situación. Se deben tomar decisiones cuanto antes con dichos clones, para que no se presente un 60 % de severidad del ataque del hongo *Sclerotium* sp. sobre material clonal en vivero, según lo reportado por [26]. El hecho que se registraran resultados similares entre clones en la evaluación, tanto de la incidencia como de la severidad, le da gran fortaleza a la investigación, principalmente en el aspecto del conocimiento generado para la toma de decisiones con base en datos científicamente obtenidos. [37] ratifica lo anterior al concluir que, una correcta identificación del patógeno, así como la determinación de la naturaleza e intensidad del daño es esencial para adoptar estrategias de manejo adecuadas, con el fin de evitar un aumento en el precio, producto de la pérdida de plantas en vivero.

Conclusiones y recomendaciones

La escala diagramática desarrollada resultó efectiva para identificar y categorizar desde los rasgos

iniciales de la enfermedad (puntos, manchas y estrías) hasta su evolución final con la quebradura del tallo producto de su pudrición. Lo anterior se ratificó en su validación al aplicarla sobre los nueve genotipos. A pesar de registrarse valores de incidencia y severidad relativamente bajos, se debe poner especial énfasis en identificar el patógeno para determinar formas de evitar su aparición o en su defecto controlarlo.

Los análisis estadísticos sugieren un efecto genético en cuanto a la susceptibilidad de la aparición de la patología. Se identifican, por un lado a los clones 16 y 8 y por el otro al 15 y 1 como los de susceptibilidad baja y alta a la enfermedad, respectivamente. Por lo tanto, no se recomienda seguir multiplicando el clon 1 para establecimiento de sistemas de producción, al menos hasta que se identifique el agente causante de la enfermedad y su mecanismo de control.

Referencias

- [1] D. Arias, “Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales.” Costa Rica. Revista Forestal Kurú 2(5). Noviembre, 2005
- [2] J. Vallejos, y Y. Badilla. F. Picado. O. Murillo, “Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal.” Agronomía Costarricense, 33 (1), p.105-119. Octubre, 2010
- [3] M. Espitia, O. Murillo, C. Castillo, “Ganancia genética esperada en melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en Córdoba (Colombia)”. Revista Árvore, 40(1), 71-80. <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000100008> Febrero, 2015

- [4] H. Fassola, "Subprograma pinos en región mesopotámica – *Araucaria angustifolia*. En Norverto, C. (ed.). Mejores árboles para más forestadores: el programa de producción de material de propagación mejorado y el mejoramiento genético en el Proyecto Forestal de Desarrollo". pp. 43-56. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca, y Alimentos, Buenos Aires, Argentina. Febrero, 2005.
- [5] J. Cornelius y L. Ugarte, "Introducción a la Genética y Domesticación Forestal para la Agroforestería y Silvicultura." Lima, Perú. Centro mundial para la agroforestería (ICRAF). 124 p. 2010
- [6] C. Ávila-Arias, R. Murillo-Cruz, O. Murillo-Gamboa, y C. Sandoval-Sandoval, "Desarrollo juvenil de clones de *Gmelina arborea* Roxb. de dos procedencias, en sitios planos del Pacífico Sur de Costa Rica", Revista Forestal Mesoamericana Kurú, vol. 12, n.o 28, p. 23, diciembre, 2014, doi: 10.18845/rfmk.v12i28.2097.
- [7] F. Rojas Rodríguez, D. Arias Aguilar, R. Moya Roque, A. Meza Montoya, O. Murillo Gamboa, y M. Arguedas Gamboa, "Manual para productores de Melina", 2013.
- [8] E. J. Umana, P. I. Akwaji, A. A. Markson, y S. E. Udo, «*Gmelina arborea* Roxb: associated mycoflora and diseases in Cross River State, Nigeria», Global J Sci Front Res, vol. 15, pp. 1–11, 2015.
- [9] C. Ávila-Arias, R. Murillo-Cruz, y O. Murillo-Gamboa, "Selección de clones superiores de dos conjuntos genéticos de *Gmelina arborea* en el Pacífico Sur de Costa Rica", Revista de Ciencias Ambientales, vol. 49, n.o 1, p. 17, jun. 2015, doi: 10.15359/rca.49-1.2.
- [10] A. Salas-Rodríguez, O. Murillo-Gamboa, R. Murillo-Cruz, C. Ávila-Arias, y X. Mata-Granados, "Evaluación de la severidad de la pudrición del tronco en *Gmelina arborea* Roxb.", Revista Forestal Mesoamericana Kurú, vol. 13, n.o 32, p. 1, abr. 2016, doi: 10.18845/rfmk.v0i0.2547.
- [11] M. González-Rojas, R. Murillo-Cruz, y C. Ávila-Arias, "Crecimiento inicial de *Gmelina arborea* Roxb. aplicando diferentes tratamientos de fertilización en el Pacífico Sur de Costa Rica", Revista Forestal Mesoamericana Kurú, vol. 13, n.o 33, p. 29, jun. 2016, doi: 10.18845/rfmk.v13i33.2575.
- [12] R. Campos, T. Pereira, G. Saraiva, P. Graziotti, y N. De Barros, "Influence of leaf area reduction on clonal production of Eucalyptus seedlings." Cerne, 16(3): 251-257. 2010.
- [13] C. E. Moraes, R. C. de M. Fonseca, y M. Rui, "Influence of leaves in rooting of minicuttings of eucalyptus hybrids", Nucleus, vol. 11, n.o 1, pp. 101-106, abr. 2014, doi: 10.3738/1982.2278.995.
- [14] O. Murillo-Gamboa, Y. Badilla-Valverde, y S. Barboza-Flores, "Costos de producción en ambiente protegido de clones para reforestación", Revista Forestal Mesoamericana Kurú, vol. 15, n.o 37, pp. 15-24, jun. 2018, doi: 10.18845/rfmk.v15i37.3599.
- [15] J. P. Villegas-Espinoza, R. Murillo-Cruz, C. Ávila-Arias, y W. Hernández-Castro, "Influencia del área foliar en el enraizamiento de genotipos superiores de *Gmelina arborea* Roxb.", Revista Forestal Mesoamericana Kurú, vol. 14, n.o 34, p. 13, dic. 2016, doi: 10.18845/rfmk.v14i34.2995.
- [16] J. P. Villegas-Espinoza, R. Murillo-Cruz, C. Ávila-Arias, y W. Hernández-Castro, «Período óptimo de enraizamiento de clones superiores de *Gmelina arborea* Roxb», Revista de Ciencias Ambientales, vol. 51, n.o 1, p. 1, may 2017, doi: 10.15359/rca.51-1.1.
- [17] Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (2009). Economía e inversiones forestales y agroforestales en el trópico. [En línea]. Disponible en: <https://www.catie.ac.cr/images/pdfs/programas-de-edu/Especializacion-en-Agroforesteria-Tropical1.pdf>
- [18] ONF. "Usos y aportes de la madera en Costa Rica: Estadísticas 2014." ONF: Heredia, Costa Rica. (2014).
- [19] F. R. Rodríguez, "Principales especies forestales introducidas en Costa Rica", Revista Forestal Mesoamericana Kurú, vol. 2, n.o 4, pp. 88–100, 2005.
- [20] C. L. Anuagasi, J. A. Onuorah, y R. N. Okigbo, «Fungal pathogens affecting seedlings of *Gmelina arborea* Roxb and *Tectona grandis* Lf and effect of three plant extracts», IJAT, vol. 13, pp. 307–330, 2017.
- [21] M. J. Wingfield y D. J. Robison, "Diseases and insect pests of *Gmelina arborea*: real threats and real opportunities", New Forests, vol. 28, n.o 2/3, pp. 227-243, sep. 2004, doi: 10.1023/B:NEFO.0000040950.01256.ed.
- [22] Burchett, S; y Burchett, S. (2018). Plant pathology. Garland Science, Taylor & Francis
- [23] X. Scheldeman, "Distribution and potential of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) and highland papayas (*Vasconcellea* spp.) in Ecuador", PhD Thesis, Ghent University, 2002.
- [24] C. Mohanan, N. Ratheesh, L. Nair, y K. Rajesh, "Disease problems in root trainer forest nurseries in Kerala State and their management. Division of Forest Pathology." Kerala Forest Research Institute. 2005. [En línea]. Disponible: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp011-02.pdf> [Fecha de acceso: 7 de febrero del 2020] [Fecha de acceso: 24 de marzo del 2020]
- [25] S. Rahayu, "The occurrence of pest and disease of *Gmelina arborea* from clonal and seed material in the nurseries: a case study in East Kalimantan, Indonesia. In: Proceedings of the Seventh Meeting of IUFRO Working Party: Diseases and Insects in Forest Nurseries." Hawaii, USA. 136 p. 2010. file:///D:/Downloads/70304-hilo09.pdf
- [26] B. Callan, Introduction to forest diseases, Rev. Victoria, B.C: Forestry Canada, Forest Insect and Disease Survey, Pacific Forestry Centre, 2001.
- [27] T. Birchler, R. W. Rose, A. Royo, y M. Pardos, «La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación practica», vol. 7, p. 13, 1998.
- [28] C. O'Reilly, M. Keane, y N. Morrissey, «The importance of plant size for successful forest plantation establishment», p. 5, 2002.
- [29] R. Burdon, "Managing risk in clonal forestry." CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, vol. 1, n.o 35, nov. 2006, doi: 10.1079/PAVSNNR20061035.
- [30] I. Anggraeni, y N. Mindawati, "Serangan Hama dan Penyakit pada *Gmelina* (*Gmelina arborea* Roxb.) di Hutan Rakyat." Tekno Hutan Tanaman. 4 (2): 85–92. (2011).

- [31] V. R. Rai y T. Mamatha, «Seedling diseases of some important forest tree species and their management», en *Diseases and Insects in Forest Nurseries. Proceedings of the 5th Meeting of IUFRO Working Party S*, 2005, vol. 7, pp. 6–8.
- [32] M. Kappelle, Ed., *Ecosistemas del Área de Conservación Osa (ACOSA)*, 1. ed. Santo Domingo, Costa Rica: INBio, 2003.
- [33] L. Holdridge, *Ecología: basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. (1978).
- [34] E. H. Franz, M. Begon, J. L. Harper, y C. R. Townsend, “Ecology: Individuals, Populations and Communities”, *Journal of Range Management*, vol. 41, n.o 6, p. 524, nov. 1988, doi: 10.2307/3899533.
- [35] J. A. Di Rienzo, F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. González, M. Tablada, y C. W. Robledo, *InfoStat*. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.: Grupo InfoStat, FCA, 2008.
- [36] P. A. Arneson, “Plant Disease Epidemiology: Temporal Aspects”, *The Plant Health Instructor*, 2001, [Online]. Disponible en: <https://www.apsnet.org/edcenter/disimpactmngmnt/topc/EpidemiologyTemporal/Pages/default.aspx> [Fecha de acceso: 24 de marzo del 2020].
- [37] G. Mathew, “Nursery pests of forest tree species and their management”. s.f; [online]. Disponible en: https://scholar.google.co.cr/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&as_vis=1&q=NURSERY+PESTS+OF+FOREST+TREE+SPECIES+AND+THEIR+MANAGEMENT+George+Mathew+India&btnG=. [Fecha de acceso: 24 de marzo del 2020] as a protein complement for growing rats”, *Science of Food and Agriculture*, vol.88, no. 7, março, p.1166-1171, 2008. DOI: 10.1002/jsfa.3192.