

Desempeño de clones superiores de *Gmelina arborea* Roxb. en crecimiento, calidad y susceptibilidad a la pudrición del tronco, región Huetar Norte, Costa Rica

Performance of optimal clones of *Gmelina arborea* Roxb. in terms of growth, toquality and trunk rot susceptibility , in the Huetar Norte Region, Costa Rica

Rodrigo Benavides-Fallas ¹  • Carlos Ávila-Arias ²  • Rafael Murillo-Cruz ² 
• Gerardo Ulloa-Saborío Randall ²  • Carmona-Solís ³ 

Recibido: 26/01/2024

Aceptado: 22/03/2024

Abstract

Intensive silvicultural clonal experiments with *Gmelina arborea* seems to be an option to address the low productivity challenged by national producers. However, the quality and health of each clone should be assessed to improve the profitability of the production. We estimated statistical differences and phenotypic superiority (PF) of each clone to characterize the performance in terms commercial volume (CV), quality (C%) and commercial volume quality (VCC) of 15 superior *Gmelina* genotypes, evaluated in three sites of the Huetar Norte Region. In addition, each genotype was classified according to its susceptibility to the “trunk rot” disease. The potential commercial population was identified as the clones above the population average in VCC and the potential breeding population as the genotypes with SF greater than 10% in VCC. The potential commercial populations, the impact on VCC, and the genotypes less susceptible to disease were: Upala site (2.8 years) 53 % of the group, impact 2.21 m³ ha⁻¹, clone 1 not very susceptible. Cutris site (5.9 years) 55 % of the clones, SF of 1.73 m³ ha⁻¹, with the exception of clone 6, this population was less susceptible. Guatuso Site (4.3 years) 61.5 % of the genotypes, would increase the VCC by 3.24 m³ ha⁻¹, of this population clones 7, 11, 6 and 12 present low susceptibility. In the region, there is phenotypic potential to influence positively the profitability of the production units, but it is essential to calculate the genetic parameters that support this.

Keywords: Clonal forestry; Costa Rica; increase productivity; melina; phenotypic superiority.

1. Asociación Conservación Osa; Puntarenas, Costa Rica. rodrigo.benavides.fallas@gmail.com
2. Instituto de Investigación y Servicios Forestales, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. carlos.avila.arias@una.ac.cr, murillorafael5454@yahoo.com
3. Departamento de Investigación. Ethical Forestry EFCR S.A, Costa Rica. gerardo.ulloa@ethicalforestry.com, rangc254@gmail.com

Resumen

La silvicultura clonal intensiva con *Gmelina arborea*, promete ser una opción para atender la baja productividad que enfrentan los productores nacionales. No obstante, la calidad integral y sanidad de los individuos debe ser estudiada para mejorar la rentabilidad de las unidades de producción. Para caracterizar el desempeño de 15 genotipos superiores de melina, evaluados en tres sitios de la Región Huetar Norte, se estimaron diferencias estadísticas y la superioridad fenotípica (SF) de cada clon por su desempeño en volumen comercial (VC), calidad (C %) y volumen comercial de calidad (VCC). Además, se clasificó cada genotipo respecto a su susceptibilidad a la enfermedad “podrición en el tronco”. Se identificó la población potencial comercial como los clones superiores al promedio poblacional en VCC y la población potencial de mejoramiento como los genotipos con SF mayor a 10 % en VCC. Las poblaciones potenciales comerciales, su impacto en VCC y los genotipos menos susceptibles a la enfermedad, son: Sitio Upala (2,8 años) 53 % del conjunto, impacto $2,21 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, el clon 1 poco susceptible. Sitio Cutris (5,9 años) 55 % de los clones, SF de $1,73 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, excepto el clon 6, esta población es menos susceptible. Sitio Guatuso (4,3 años) 61,5 % de los genotipos aumentaría en $3,24 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ el VCC, de esta población los clones 7, 11, 6 y 12 presentan menor susceptibilidad. En la región existe potencial fenotípico para impactar positivamente la rentabilidad de las unidades de producción; pero es necesario calcular los parámetros genéticos que respalden esta información.

Palabras clave: Aumento de productividad, Costa Rica, melina, silvicultura clonal, superioridad fenotípica.

Introducción

Gmelina arborea Roxb. (melina) es una de las dos especies forestales de mayor importancia en Costa Rica. El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) [1], la reportó como la de mayor área cosechada, cerca de 2 763,4 ha, y la segunda de mayor producción del país (alrededor de 47 174,2 m^3). Localmente, ha sido priorizada para la investigación y desarrollo de su paquete silvicultural, debido principalmente al sobresaliente crecimiento [2], adaptabilidad a distintas condiciones, rendimiento [3], así como por la versatilidad de la madera [2], [4]. No obstante, pese a haber demostrado potencial para la reforestación comercial, su cultivo ha disminuido. Hoy en día el sector forestal enfrenta una crisis, donde uno de los problemas principales se relaciona con el aumento de los costos operativos. Los productores han asumido estos cargos y se han visto afectados por la estabilidad del precio de la madera en el mercado [4],

lo que implica una disminución en la rentabilidad de la unidad de producción.

Ante esta problemática, el enfocarse en una estrategia hacia la silvicultura clonal intensiva de la especie se vislumbra como un aporte prometedor [2]. Por lo tanto, los programas de mejoramiento genético (PMG) se han concentrado en optimizar características de importancia económica y, mediante la clonación, se apuesta a maximizar la producción por unidad de área, gracias a la variabilidad genética que reporta la especie [5]. Lo anterior porque la técnica de propagación vegetativa (clonación) permite capturar la varianza genética (variación aditiva y no aditiva) de cada genotipo [6]. Debido a los esfuerzos realizados por organizaciones, tanto públicas como privadas, la melina es la especie forestal con fines productivos de mayor progreso en PMG en el país. Diversos estudios han logrado identificar genotipos superiores por su desempeño en campo [3], [5], así como por su susceptibilidad a enfermedades, por ejemplo, la podrición del tronco [7], [8].

A pesar del nivel de avance logrado a la fecha, los PMG con melina aún enfrentan una serie de retos para alcanzar sus objetivos [2]. La calidad de los individuos vista de manera integral, es de significativa importancia, motivo que ha incentivado a incluirla como variable en los estudios de campo [5], [9], [10]. De igual forma sucede con la enfermedad podrición del tronco [3], [7], [8], su aparición y agresivo avance puede provocar que el mercado encuentre más atractivas otras especies forestales [11]. Al respecto, en términos de calidad Ávila-Arias et al. [5] evaluaron el desempeño de dos conjuntos clonales procedentes de dos regiones, en dos condiciones de sitio del Pacífico Sur del país. Dichos autores encontraron que la progenie Zona Norte mostró un valor de calidad pobre y lo acreditan a una deficiente selección. En el aspecto fitosanitario, [7] recalcan la necesidad de identificar materiales genéticos tolerantes a plagas y enfermedades y establecer los sistemas de producción forestal con ellos. Esto se debe a la elevada tasa de avance de la enfermedad en plantaciones juveniles con ciertos genotipos, incluso clonales. Ambos retos deben afrontarse por medio de una estrategia de silvicultura clonal intensiva. No obstante, adicionalmente debe ser sitio - específica.

Lo anterior al ser la melina una especie con interacciones sitio específicas debidamente documentadas para distintas variables ligadas a su desempeño en campo [2]. Ávila-Arias et al. [5] reportó para clones evaluado en Costa Rica influencia del sitio tanto para la calidad como para el crecimiento. Por su parte, Salas-Rodríguez et al. [8] registraron variaciones en el comportamiento de los clones de dos conjuntos genéticos, con respecto a

su tolerancia a la enfermedad de pudrición en el tronco; lograron identificar como tolerantes a la enfermedad a un 14 y 26 % de los clones evaluados para los genotipos procedentes de Zona Norte y Sur, respectivamente. Una tendencia similar se reporta en Ávila-Arias et al. [3] quienes encontraron clones con patrones inconsistentes entre sitios, es decir, inestables en cuanto a la severidad e incidencia a dicha enfermedad.

Por lo descrito, el objetivo de la presente investigación fue caracterizar el desempeño de una colección genética de clones de melina en distintos sitios de la Región Huetar Norte, tanto en variables dasométricas como de calidad y sanidad, con lo que se pueda generar impactos significativos en la productividad y, con esto, rentabilidad de los sistemas de producción forestal. Lo anterior con el propósito de hacer todavía más atractivo el cultivo de la especie.

Materiales y métodos

Descripción de los sitios experimentales

Se trabajó en tres ensayos clonales de la especie *Gmelina arborea*. Estos fueron establecidos por el Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional de Costa Rica (INISEFOR - UNA), en tres sitios pertenecientes a la región Huetar Norte (RHN) de Costa Rica, a saber:

- Sitio Upala: ensayo establecido en agosto del año 2012. Se ubica en el cantón Upala, distrito Aguas Claras, en las coordenadas geográficas N 10,939179 W 85,253658, altitud de 85 m.s.n.m. El

orden de suelo es Ultisol, suborden humults [12], catalogado como zona de vida Bosque Muy Húmedo Premontano Transición Basal (bmt-P6) [13]. Como parte de la preparación del terreno se realizó la aplicación de rastra dos veces y se aplicó 50 g de cal “Zurco Mejorador” por árbol al fondo del hueco en el momento de la siembra. Por sus características considerado como Clase II para producción de melina según la clasificación de Zeaser y Murillo [14].

- Sitio Cutris: ensayo establecido en julio del año 2012. Se ubicada en el cantón San Carlos, distrito Cutris, en las coordenadas geográficas N 10,63279 y W 84,39598, altitud de 141 m.s.n.m. y su suelo es del orden Ultisol, suborden udults [12], catalogado en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Premontano Transición Basal (bmt-P6) [13]. Se ha clasificado como Clase II para producción de melina [14].
- Sitio Guatuso: ensayo establecido en junio del 2013. Se ubica en el cantón Guatuso, distrito San Rafael, en las coordenadas geográficas N 10,69171; W 84,93362. Se encuentra a una altitud de 272 m.s.n.m. y su suelo es del orden Ultisol, suborden udults [12], catalogado en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Tropical (bmh-T) [13]. Como parte de la preparación del terreno se realizaron los hoyos con taladro y se agregaron 150 g de abono NPK usando espeque. Se considera como Clase II para producción de melina [14].

Descripción de los diseños experimentales

Los tres ensayos de investigación se instalaron con la colección clonal de melina que el INISEFOR – UNA multiplica para el establecimiento de sistemas de

Bloque 1	4 9 10 7 6 12 13 11 2 5 3 1 8 15 10 3 2 9 15 13 5 12 6 7 1 4 11 8	Bloque 4
	4 9 10 7 6 12 13 11 2 5 3 1 8 15 10 3 2 9 15 13 5 12 6 7 1 4 11 8	
	2 13 12 15 6 3 9 11 4 1 7 5 8 10 5 13 8 9 7 4 2 1 10 11 12 3 6 15	
	2 13 12 15 6 3 9 11 4 1 7 5 8 10 5 13 8 9 7 4 2 1 10 11 12 3 6 15	
	9 10 5 13 11 2 1 6 3 8 12 15 7 4 7 11 8 12 9 3 10 15 5 1 2 13 6 4	
9 10 5 13 11 2 1 6 3 8 12 15 7 4 7 11 8 12 9 3 10 15 5 1 2 13 6 4	Bloque 5	
10 3 2 9 15 13 5 12 6 7 1 4 11 8 15 8 1 3 5 2 11 13 12 6 7 10 4 9		
5 13 8 9 7 4 2 1 10 11 12 3 6 15 10 8 5 7 1 4 11 9 3 6 15 12 13 2		
5 13 8 9 7 4 2 1 10 11 12 3 6 15 10 8 5 7 1 4 11 9 3 6 15 12 13 2		
7 11 8 12 9 3 10 15 5 1 2 13 6 4 9 10 5 13 11 2 1 6 3 8 12 15 7 4		
7 11 8 12 9 3 10 15 5 1 2 13 6 4 9 10 5 13 11 2 1 6 3 8 12 15 7 4	Bloque 6	
15 8 1 3 5 2 11 13 12 6 7 10 9 4 8 11 4 1 7 6 12 5 13 15 9 2 3 10		
15 8 1 3 5 2 11 13 12 6 7 10 9 4 8 11 4 1 7 6 12 5 13 15 9 2 3 10		
10 8 5 7 1 4 11 9 3 6 15 12 13 2 5 13 8 9 7 4 2 1 10 11 12 3 6 15		
10 8 5 7 1 4 11 9 3 6 15 12 13 2 5 13 8 9 7 4 2 1 10 11 12 3 6 15		
4 7 15 12 8 3 6 1 2 11 13 5 10 9 4 6 13 2 1 5 15 10 3 9 12 8 11 7	Bloque 6	
4 7 15 12 8 3 6 1 2 11 13 5 10 9 4 6 13 2 1 5 15 10 3 9 12 8 11 7		

Figura 1. Diseño experimental bloques completos al azar, instalado en tres ensayos en la Región Huetar Norte de Costa Rica.

Figure 1. Randomized complete block design, used in three trials in the Northern Huetar Region of Costa Rica.

producción forestal. En Sitio Cutris y Upala se utilizaron un total de 15 clones, mientras que en Sitio Guatuso fueron 14 de ellos, al no incluir el genotipo 16. Para todos los casos se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA), con seis bloques, cada uno con seis árboles (rametos) de cada uno de los genotipos, los que fueron plantados en el campo en parejas y distribuidos al azar a lo interno del bloque, con un distanciamiento de siembra de 3 m entre árbol y 4 m entre filas (Figura 1), en total se evaluaron treinta y seis árboles de cada genotipo por localidad.

VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

Se definieron las siguientes variables independientes:

- **Sitio:** las localidades se trabajaron, de manera tal que se suplieran las necesidades específicas de la especie. Se buscó concentrar la variabilidad del sitio entre los bloques y disminuirla a lo interno de cada bloque, lo que disminuye cualquier efecto que no fuera producto de la expresión genética del material clonal.
- **Edad:** En el sitio Upala se llevó a cabo una medición a los 2,8 años (34 meses); en Cutris dos, la primera a los 2,9 años (35 meses) y posterior al último raleo a los 5,9 años (71 meses), en este último caso se descartaron del análisis los clones 1, 2, 11 y 15 al encontrarse menos de 4 rametos en cada uno. Por último, en Guatuso se contó con dos mediciones, a los 3,3 años (40 meses) y a los 4,3 años (52 meses) después de un raleo.
- **Clones:** como se mencionó, se trata de un conjunto de 15 genotipos de melina que manejan los investigadores del Programa de Producción Forestal Intensiva del INISEFOR - UNA.

Por otra parte, el análisis de resultados y posteriores conclusiones se basaron en las siguientes variables dependientes:

- **Volumen comercial con corteza (VC):** se calcula mediante la Ecuación 1.

$$VC(m^3) = DAP(m)^2 * \frac{\pi}{4} * HC(m) * 0,45 \quad (1)$$

Donde, DAP = diámetro a la altura del pecho medido a 1,3 m de la base para cada árbol, con cinta diamétrica. HC = altura comercial determinada por la cantidad de trozas de 2,5 m evaluadas en cada árbol.

- **Calidad (C):** se estimó un valor para cada individuo utilizando la metodología de [15]. Calculada mediante

la Ecuación 2, la cual se coloca a manera de ejemplo en el caso que el árbol tenga 4 trozas comerciales.

$$Calidad\ del\ árbol = T1 * 0,4 + T2 * 0,3 + T3 * 0,2 + T4 * 0,1 \quad (2)$$

- **Calidad porcentual (C %):** El valor absoluto de calidad promedio por árbol fue convertido mediante la Ecuación 3 a términos porcentuales.

$$C\ \% = 100 * \left\{ 1 - \left[\frac{calidad-1}{3} \right] \right\} \quad (3)$$

- **Volumen comercial de calidad (VCC):** se castigó el volumen comercial al multiplicarlo por su respectivo valor de C % de cada individuo [5].
- **Índice de severidad de la pudrición en el tronco (I.S.):** se obtuvo el grado de severidad de los individuos mediante la metodología propuesta por Salas-Rodríguez et al. [16] (Ecuación 4). Ese valor se basa en una escala entre 1 y 5, siendo 1 el dato que indica un individuo sano y sin evidencia de síntomas. Una vez determinado la severidad se calculará el índice de severidad en términos porcentuales (I.S. %) (ver Ecuación 5).

$$I.S.\ del\ clon\ "i" = \left[\frac{N1*1+N2*2+N3*3+N4*4+N5*5}{N1+N2+N3+N4+N5} \right] \quad (4)$$

$$I.S.\ \% = -1 * \left[\frac{1-I.S.}{4} \right] * 100 \quad (5)$$

Donde, N1 = número de rametos del clon "i" calificados con grado de severidad 1 +...+N5 = número de rametos del clon "i" calificados con grado de severidad.

- **Índice de incidencia de la pudrición en el tronco (I.I.):** se calcula el promedio aritmético para cada clon de los datos presencia/ausencia de la enfermedad, con base en el conjunto de sus rametos presentes en el ensayo (ver Ecuación 6).

$$I.I. = \sum yi/n \quad (6)$$

Donde, Yij = Presencia de la enfermedad en el rameto "ij" del clon "j".

- **Susceptibilidad:** Se calcula la suma de los resultados del I.S. y el I.I. de cada clon. Los resultados se dividen en terciles y se clasifican en alta, media o baja susceptibilidad.

Evaluación del desempeño fenotípico

Cada uno de los clones se evaluó de acuerdo a su valor de superioridad fenotípica (SF) en cada una de las

variables dependientes. La SF corresponde al porcentaje de diferencia de cada clon respecto a la media del conjunto genético en estudio para cada variable. De acuerdo con lo anterior, para el volumen comercial de calidad se definieron dos poblaciones por sitio basados en la SF de los genotipos:

- Población potencial comercial: es la recomendada para el establecimiento de sistemas de producción forestal. Definida por todos aquellos clones que igualaron o superaron el valor de la media del conjunto clonal.
- Población potencial de mejoramiento: es la llamada a continuar el proceso de investigación y desarrollo mediante el PMG del INISEFOR-UNA para la especie. Se define como todos aquellos clones que superaron en más del 10 % la media del conjunto en VCC.

Análisis estadístico

Una vez comprobados los enunciados de la estadística paramétrica, se les aplicó un Análisis de Varianza (ANDEVA) para datos no balanceados, sobre las variables

dasométricas DAP, HC, VC, C %, VCC. Posteriormente, se llevó a cabo la prueba de medias de Tukey (P = 0,05) como comprobador múltiple, que permitió identificar las diferencias entre los clones que se evaluaron. Las pruebas se realizaron con el programa estadístico InfoStat 2017e.

Resultados y discusión

Evaluación fenotípica

Se muestran los clones ordenados en forma descendente con base, tanto en la prueba de medias como en el porcentaje de superioridad fenotípica (SF), respecto a la media del conjunto para cada variable. Lo anterior con el objetivo de resaltar los genotipos sobresalientes, que pudieran impactar positivamente en posibles proyectos forestales [6], en sitios de esta región similares a los evaluados.

Sitio Upala a los 2,8 años. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre clones únicamente en la variable calidad (%) (ver Cuadro 1), la cual registró la menor variabilidad de todos los parámetros evaluados,

Cuadro 1. Posición de genotipos de *Gmelina arborea* respecto a su superioridad fenotípica registrada sobre la media poblacional en variables de crecimiento y calidad, a los 2,8 años en Sitio Upala, Alajuela, Costa Rica.

Table 1. Position of *Gmelina arborea* genotypes regarding its phenotypic superiority reported over the population growth and quality variables mean, at 2.8 years in Upala Site, Alajuela, Costa Rica.

Clon	Media	SF (%)	Clon	Media	SF (%)	Clon	Media	SF (%)
10	0,0523 A	28,7	8	79,4 A	15,6	3	0,0335 A	21,6
3	0,0453 A	11,4	4	78,1 AB	13,7	9	0,0318 A	15,4
11	0,0451 A	10,8	13	76,5 AB	11,3	4	0,0316 A	14,6
2	0,0438 A	7,7	6	76,2 AB	10,9	11	0,0308 A	11,8
9	0,0427 A	5,0	3	75,8 ABC	10,3	10	0,0297 A	7,9
7	0,0421 A	3,4	5	73,2 ABC	6,5	5	0,0294 A	6,8
4	0,0409 A	0,6	11	72,6 ABC	5,6	8	0,0287 A	4,3
5	0,0402 A	-1,1	9	71,4 ABC	4,0	13	0,0277 A	0,8
15	0,0397 A	-2,3	12	71,0 ABC	3,3	12	0,0273 A	-0,8
12	0,0384 A	-5,7	15	66,7 ABCD	-2,9	6	0,0269 A	-2,5
1	0,0373 A	-8,4	16	61,1 ABCD	-11,0	7	0,0255 A	-7,4
16	0,0371 A	-8,8	7	60,8 ABCD	-11,5	15	0,0250 A	-9,4
8	0,0366 A	-10,0	1	60,2 BCD	-12,4	2	0,0227 A	-17,8
13	0,0356 A	-12,5	10	57,0 CD	-17,0	16	0,0225 A	-18,4
6	0,0343 A	-15,7	2	51,4 D	-25,2	1	0,0212 A	-23,0
0,0407 (±0,0233)*			68,7 (±24,1)*			0,0276 (±0,0174)*		

SF: Superioridad fenotípica; * promedio y desviación estándar. Promedios con letras distintas son estadísticamente diferentes según la prueba Tukey ($\alpha = 0,05$).

con un coeficiente de variación de 35 %. A pesar de no haberse determinado diferencias estadísticas en volumen comercial y volumen comercial de calidad (VC y VCC, respectivamente), en todos los parámetros se aprecian valores diferenciados entre tratamientos (genotipos). Cabe destacar que, los clones 3, 9, 4 y 11 siempre apuntaron superioridad sobre el promedio poblacional, es decir, el peso de su efecto fue positivo para todas las variables.

Adicionalmente, el clon 3 superó en 57,8 % al último puesto de la tabla (clon 1) en VCC (Cuadro 1). Lo anterior a pesar de no haberse encontrado diferencias estadísticas entre el conjunto clonal. Ávila-Arias et al. [5] reportaron que el mejor clon en VCC alcanzó 55 % de SF en Finca Puntarenas, con respecto al del peor desempeño. Este dato ratifica que, al identificar genotipos con una respuesta fenotípica superior se pueden obtener ganancias porcentuales significativas en etapas posteriores, aún si la heredabilidad es baja [5]. Esto mediante el proceso de silvicultura clonal donde es posible obtener la transferencia de caracteres aditivos y no aditivos, en consecuencia, atractivo para las variables que presentan baja heredabilidad [17]. Ávila-Arias et al. [5] apuntan que existe la capacidad genética para expresar mejores resultados de crecimiento en un mismo sitio, con lo que se reafirma la importancia de seleccionar los mejores clones, especialmente para sitios pequeños, debido al impacto económico en la unidad de producción.

La ausencia de diferencias en las restantes variables puede explicarse, primero, por la mayor variabilidad registrada a lo interno de ellas, expresada mediante la desviación estándar promedio del conjunto genético. La alta variabilidad que se encuentra en los datos es producto, en mayor medida, de la relación genética*micrositio, adicionalmente se podría mencionar un menor efecto producto del manejo silvicultural [18], expresada claramente en la melina. En segundo lugar, debe tomarse en cuenta que la evaluación se realizó a edad temprana, al suponer que el material no ha completado la expresión genética [5].

En una investigación similar en Costa Rica, con clones de melina a los 2,3 años, [5] identificaron diferencias en uno de los dos sitios estudiados. En otro estudio en el norte de India, se identificaron diferencias entre 70 clones de melina a los 2 años [19].

Se obtuvo un valor promedio para todo el conjunto clonal de 68,7 % para la variable calidad, con 79,4 % como su máximo valor a los 2,8 años. El desempeño del conjunto clonal aquí evaluado, en términos de su calidad, pudo verse afectado por la relación de manejo sitio específico reportada para la melina [2], [5], [9], [10], es decir, variaciones en el manejo silvícola o parámetros

climáticos o edafológicos, generarían variaciones en el comportamiento de los genotipos.

El conjunto genético establecido en el sitio Upala registró valores promedio en IMA por árbol de 6,1 cm año⁻¹, 1,28 m año⁻¹, 0,0144 m³ año⁻¹ y 0,0097 m³ año⁻¹ para DAP, HC, VC y VCC, respectivamente. Diversas investigaciones han reportado IMA en variables dasométricas a los 3 años en plantaciones de melina establecidas con semilla. Entre ellas, Balcorta-Martínez y Vargas-Hernández [20] reportaron en México para 20 árboles superiores 5,0 cm año⁻¹ en DAP, 3,74 m año⁻¹ HT y 0,0303 m³ año⁻¹ VT. En Filipinas, el resultante de la evaluación de tres sitios fue 4,25 cm año⁻¹ en DAP, 1,95 m año⁻¹ HC y 29,61 m³ ha⁻¹ año⁻¹ VT [21].

Los clones 3, 9, 4, 11, 10, 5, 8 y 13 conforman la población potencial comercial debido a su superioridad fenotípica, con respecto al promedio poblacional en VCC (Figura 2). Representan el 53 % de los genotipos que se evaluaron y tienen una SF promedio de 10,4 %, es decir, es 2,21 m³ ha⁻¹ superior al promedio de todo el conjunto genético. Por otra parte, el 27 % de los clones que se evaluaron se identificaron como la población potencial de mejoramiento (genotipos 3, 9, 4 y 11), cuya SF promedio es 15,8 %, lo que ocasiona en una diferencia de 3,37 m³ ha⁻¹ respecto al conjunto evaluado. A pesar de los resultados, se deben realizar mediciones posteriores a este ensayo clonal para monitorear el crecimiento de todos los genotipos y, de esa manera, corroborar los datos presentados. Es de especial interés determinar si el subconjunto de genotipos promisorios persiste en el futuro como parte de la población potencial de mejoramiento. Kumar [19] determinó que existen variaciones en el tiempo en el desempeño de los clones, es por lo que las pruebas deben mantenerse por periodos de más de 2 años para asegurar la correcta identificación de la población élite y llevar a cabo recomendaciones adecuadas [17].

En la evaluación de la resistencia a la enfermedad pudrición del tronco, se determinaron diferencias al ordenar los clones de menor a mayor susceptibilidad a esta patología. A partir de esto, se clasificaron en categorías de baja, media y alta susceptibilidad. En las condiciones del sitio Upala, únicamente el clon 1 resultó dentro de la clase baja. Sin embargo, registra el desempeño fenotípico menos deseable en VCC. Al relacionar la población potencial comercial con la enfermedad se identifican los clones 3 y 11 en la categoría media, los demás se ubicaron en la baja.

Los clones 5 y 8 son medianamente susceptibles, más no sobresalientes en crecimiento, por lo que se debe prestar atención a su comportamiento en el tiempo. Los clones 9 y 4 (parte de la población potencial de mejoramiento) reportaron alta susceptibilidad, de la misma manera que los genotipos 10 y 13, por lo que se debe realizar los

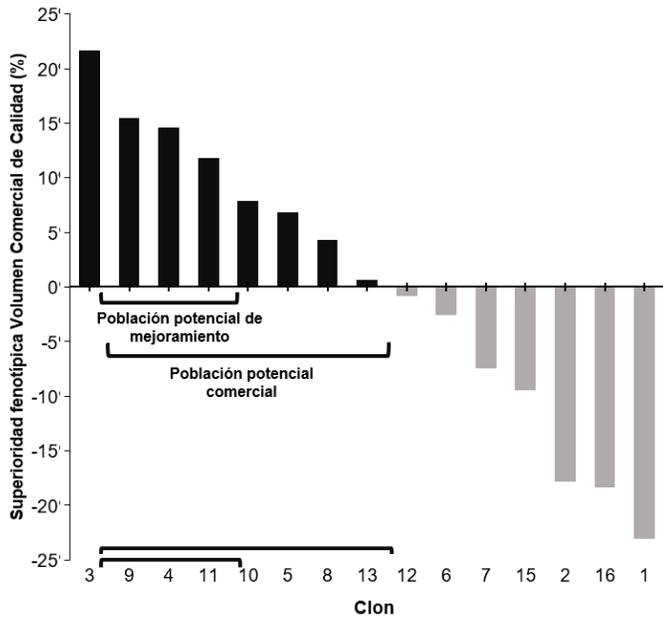


Figura 2. Población potencial comercial y de mejoramiento identificadas para un conjunto genético de *Gmelina arborea* a los 2,8 años en Sitio Upala, Alajuela, Costa Rica.

Figure 2. Commercial and breeding potential populations identified for a genetic set of *Gmelina arborea* at 2.8 years in Upala Site, Alajuela, Costa Rica.

Cuadro 2. Jerarquía clonal respecto a su nivel de susceptibilidad a la pudrición en el tronco para *Gmelina arborea* en Sitio Upala, Alajuela, Costa Rica.

Table 2. Clonal hierarchy regarding its level of susceptibility to trunk rot for *Gmelina arborea* in Upala Site, Alajuela, Costa Rica.

Severidad	Incidencia	Susceptibilidad
1	1	1
5	5	5
6	6	6
3	8	8
8	3	3
11	16	11
9	7	16
12	11	7
16	9	9
17	12	12
4	2	4
13	4	2
2	15	13
15	10	15
10	13	10

Azul: tercio superior, Negro: tercio intermedio, Rojo: tercio inferior

análisis para determinar el potencial para futuros ensayos respecto a esta variable y su impacto en plantaciones comerciales. Autores como [22] ratifican lo anterior al puntualizar en la importancia de seleccionar utilizando diversidad de rasgo. Si se obtienen valores fenotípicos, genotípicos y de heredabilidad (media o alta) en variables de crecimiento y susceptibilidad, las posibilidades de identificar los mejores clones para estas específicas condiciones de sitio aumentarían considerablemente [23].

Sitio Cutris a los 5,9 años

No se registraron diferencias estadísticamente significativas entre clones para ninguna de las variables en esta medición (Cuadro 3), estos resultados se basan en la evaluación de 11 genotipos.

Una situación similar fue reportada por [5], quienes evaluaron dos conjuntos clonales procedentes de regiones distintas de Costa Rica, ambos establecidos en un sitio Clase III para producción de melina, según la clasificación de Zeaser y Murillo [14], estos tampoco registraron diferencias significativas entre clones para ninguna de ellas. Los resultados registrados en la presente investigación, así como los de Ávila-Arias et al. [5], sugieren que las condiciones presentes en un sitio Clase II o III afectan el desarrollo y la expresión del potencial genético de los materiales. Caso contrario, [24] registró diferencias estadísticas en VC a los 6 años, edad similar a la evaluación realizada en el sitio Cutris, para un conjunto de clones de melina en Filipinas.

A pesar de no haberse registrado diferencias estadísticas en este sitio, cabe resaltar que el clon 16 fue superior fenotípicamente al 13 (primero y último Cuadro 3, respectivamente) en un 32 % en VCC. Además, los 4 genotipos ubicados en las primeras posiciones en cuanto a VCC (36 % del conjunto) registran 8,75 % de SF respecto al total. Sin embargo, los resultados ratifican la importancia del peso del efecto del tratamiento en cada variable (porcentaje de SF para cada clon en este caso), este necesariamente debe considerarse en el momento de analizar los datos. Diferencias porcentuales en el desempeño de genotipos podrían impactar positivamente en la rentabilidad de la unidad de producción, pese a ser todos iguales estadísticamente hablando.

En la evaluación a los 2,9 años, el conjunto genético registró valores promedio del IMA por árbol: DAP = 5,7 cm año⁻¹, HC = 1,43 m año⁻¹, VC = 0,0151 m³ año⁻¹, VCC = 0,0102 m³ año⁻¹ (información no presentada). El número de árboles por hectárea a esa edad era de 787, para un IMA de 11,88 y 8,03 m³ ha⁻¹ año⁻¹ en VC y VCC, respectivamente. Además, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en 4 de las 5 variables dasométricas evaluadas, exceptuando el VCC (información no presentada). El mismo Sitio Cutris,

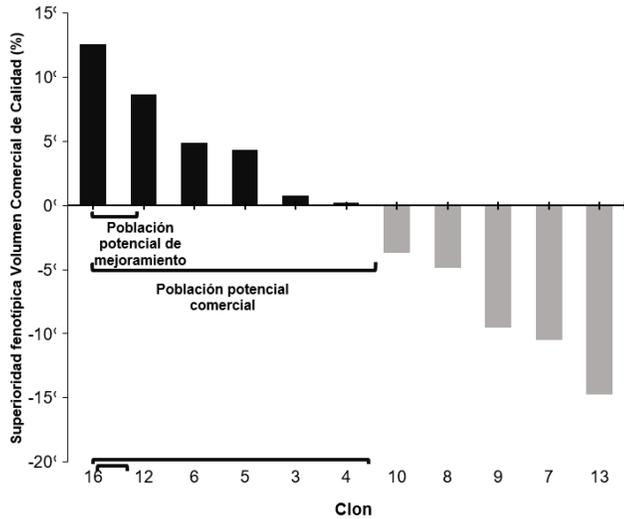


Figura 3. Población potencial comercial y de mejoramiento identificadas para un conjunto genético de *Gmelina arborea* a los 5,9 años en Sitio Cutris, Alajuela, Costa Rica.

Figure 3. Commercial and breeding potential populations identified for a genetic set of *Gmelina arborea* at 5.9 years in Cutris Site, Alajuela, Costa Rica.

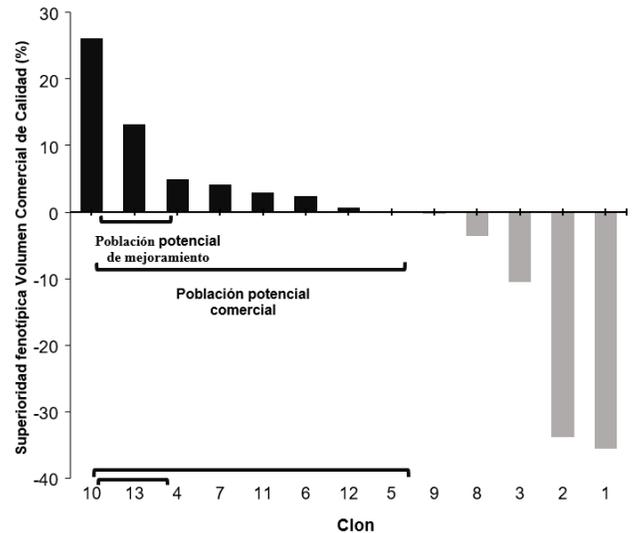


Figura 4. Población potencial comercial y de mejoramiento identificadas para un conjunto genético de *Gmelina arborea* a los 4,3 años en Sitio Guatuso, Alajuela, Costa Rica.

Figure 4. Commercial and breeding potential populations identified for a genetic set of *Gmelina arborea* at 4.3 years in Guatuso Site, Alajuela, Costa Rica.

evaluado a los 5,9 años, registró valores promedio del IMA por árbol: DAP = 4,0 cm año⁻¹, HC = 1,91 m año⁻¹, VC = 0,0383 m³ año⁻¹, VCC = 0,0336 m³ año⁻¹. Con base en los 163 árboles promedio por hectárea los IMA registrados corresponden a 6,24 y 5,47 m³ ha⁻¹ año⁻¹ en VC y VCC, respectivamente.

El 55 % de los clones (16, 12, 6, 5, 3 y 4) se considera como la población potencial comercial al registrar superioridad fenotípica (SF) sobre la media poblacional, en volumen comercial de calidad (Figura 3). La diferencia promedio de esta subpoblación es 1,73 m³ ha⁻¹, que corresponde a un 5,3 % de SF respecto a la población total. No obstante,

Cuadro 3. Posición de genotipos de *Gmelina arborea* respecto a su superioridad fenotípica registrada sobre la media poblacional en variables de crecimiento y calidad, a los 5,9 años en Sitio Cutris, Alajuela, Costa Rica.

Table 3. Ranking of *Gmelina arborea* genotypes regarding its phenotypic superiority reported over the population growth and quality variables mean, at 5.9 years in Cutris Site, Alajuela, Costa Rica.

Volumen comercial (m ³ árbol ⁻¹)			Calidad (%)			Volumen comercial de calidad (m ³ árbol ⁻¹)		
Clon	Media	SF (%)	Clon	Media	SF (%)	Clon	Media	SF (%)
16	0,2595 A	14,2	10	93,3 A	8,3	16	0,2235 A	12,5
5	0,2492 A	9,7	6	91,7 A	6,4	12	0,2158 A	8,7
12	0,2428 A	6,9	12	89,7 A	4,2	6	0,2083 A	4,8
3	0,2386 A	5,0	8	88,9 A	3,2	5	0,2072 A	4,3
4	0,2274 A	0,1	9	88,9 A	3,2	3	0,2002 A	0,8
6	0,2259 A	-0,6	7	85,2 A	-1,1	4	0,1990 A	0,2
7	0,2107 A	-7,3	16	85,2 A	-1,1	10	0,1914 A	-3,7
13	0,2048 A	-9,9	4	84,9 A	-1,5	8	0,1891 A	-4,8
9	0,2021 A	-11,0	3	83,3 A	-3,3	9	0,1798 A	-9,5
10	0,2011 A	-11,5	5	83,3 A	-3,3	7	0,1779 A	-10,4
8	0,2009 A	-11,6	13	72,2 A	-16,2	13	0,1694 A	-14,7
0,2272 (±0,0840)*			86,2 (±18,6)*			0,1987 (±0,0916)*		

SF: Superioridad fenotípica; * promedio y desviación estándar. Promedios con letras distintas son estadísticamente diferentes según la prueba Tukey (α = 0,05).

Cuadro 4. Crecimiento, calidad y susceptibilidad a la enfermedad pudrición en el tronco de clones de *Gmelina arborea* en dos momentos de medición en el sitio Cutris, Alajuela, Costa Rica.

Table 4. Growth, quality and susceptibility to trunk rot disease of *Gmelina arborea* clones at two measurement times at the Cutris site, Alajuela, Costa Rica.

Volumen Comercial		Volumen Comercial Calidad		Severidad		Incidencia		Susceptibilidad	
2,9 años	5,9 años	2,9 años	5,9 años	2,9 años	5,9 años	2,9 años	5,9 años	2,9 años	5,9 años
2*	16*	2*	16*	4	12	4	12	4	12
10*	5*	6*	12*	10	4	10	4	10	4
15*	12*	5*	6*	5	5	5	5	5	5
7*	3*	7*	5*	6	7	6	7	6	7
6*	4*	15*	3*	12	9	12	9	12	9
16*	6	10*	4*	13	16	13	16	13	16
5*	7	3*	10	9	3	9	3	9	3
3*	13	4*	8	7	8	16	8	16	8
1	9	16	9	16	13	2	13	7	13
4	10	9	7	8	10	7	10	2	10
11	8	13	13	3	6	8	6	8	6
8		11		12		3		3	
9		8		11		15		11	
12		12		15		11		15	
13		1		1		1		1	

*Población potencial comercial; **Azul:** tercio superior, **Negro:** tercio intermedio, **Rojo:** tercio inferior

registrados corresponden a 6,24 y 5,47 m³ ha⁻¹ año⁻¹ en VC y VCC, respectivamente.

El 55 % de los clones (16, 12, 6, 5, 3 y 4) se considera como la población potencial comercial al registrar superioridad fenotípica (SF) sobre la media poblacional, en volumen comercial de calidad (ver Figura 3). La diferencia promedio de esta subpoblación es 1,73 m³ ha⁻¹, que corresponde a un 5,3 % de SF respecto a la población total. No obstante, en este sitio solamente el clon 16 formaría parte de la población potencial de mejoramiento, su SF corresponde a 12,5 % y de solo utilizar dicho clon se obtendría una diferencia promedio de 4,05 m³ ha⁻¹ a los 5,9 años.

Incluir la variable sanidad en un análisis fenotípico es de vital importancia, no obstante, darle seguimiento en el tiempo lo es todavía más. Por esto, se presentan los resultados del Sitio Cutris (Cuadro 4).

Los clones 6, 5, 3 y 4 permanecen en la población potencial comercial a los 2,9 y 5,9 años por medio de los resultados en VCC. La evaluación a los 5,9 años supera la mitad del turno esperado para la especie, cumple el periodo recomendado para la adecuada identificación de genotipos superiores [24]. Por el contrario, el 2, 7, 15 y 10 formaban parte de este subconjunto a los 2,9 años

y a los 5,9 años no. Por otra parte, los clones 16 y 12 no conformaban esta población en la primera evaluación y en la segunda sí, adicionalmente ambos obtuvieron baja susceptibilidad a la enfermedad a los 5,9 años. Esto puntualiza de nuevo la importancia de monitorear el desempeño de los distintos materiales genéticos para cada sitio [17], [19]. Si se logra establecer una relación juvenil-maduro efectiva entre las variables de estudio y la productividad [24], la selección juvenil podría reflejar un impacto económico positivo.

Mediante el mejoramiento genético de la especie se puede identificar los clones con menor grado de susceptibilidad [8], con ello se abre la posibilidad para generar un siguiente conjunto genético de mejoramiento que también contemple, entre las variables de interés, la afectación por patologías. Al respecto, todos los genotipos que conforman la población potencial comercial (clones 16, 12, 6, 5, 3 y 4) resultaron poco susceptibles a la enfermedad para este sitio, exceptuando el 16 y 3 que se registraron en la categoría intermedia. A partir de lo anterior se confirma el supuesto de que existe material genético menos propenso con el cual se puede establecer una plantación clonal exitosa [7]. Identificar clones poco afectados por enfermedades a edad temprana, con buena respuesta ante el daño, representa una ventaja para todo programa de selección o mejoramiento genético,

Cuadro 5. Posición de genotipos de *Gmelina arborea* respecto a su superioridad fenotípica registrada sobre la media poblacional en variables de crecimiento y calidad, a los 4,3 años en Sitio Guatuso, Alajuela, Costa Rica.

Table 5. Ranking of *Gmelina arborea* genotypes regarding its phenotypic superiority registered over the population growth and quality variables mean, at 4.3 years in Guatuso Site, Alajuela, Costa Rica.

Volumen comercial (m ³ árbol ⁻¹)			Calidad (%)			Volumen comercial de calidad (m ³ árbol ⁻¹)		
Clon	Media	SF (%)	Clon	Media	SF (%)	Clon	Media	SF (%)
10	0,1969 A	12,4	4	79,2 A	9,0	10	0,1666 A	26,1
11	0,1891 A	8,0	10	78,8 A	8,4	13	0,1491 AB	13,2
13	0,1879 A	7,3	13	78,7 A	8,3	4	0,1382 AB	4,9
9	0,1800 A	2,8	5	74,7 A	2,8	7	0,1371 AB	4,1
6	0,1800 A	2,7	6	74,7 A	2,8	11	0,1355 AB	2,9
7	0,1774 A	1,3	12	74,6 A	2,7	6	0,1349 AB	2,4
8	0,1763 A	0,7	9	74,2 A	2,2	12	0,1325 AB	0,6
5	0,1750 A	-0,1	7	74,1 A	2,0	5	0,1318 AB	0,1
12	0,1680 A	-4,1	3	72,2 A	-0,6	9	0,1317 AB	0,0
4	0,1674 A	-4,5	8	69,7 A	-4,1	8	0,1272 AB	-3,5
2	0,1673 A	-4,5	11	66,7 AB	-8,3	3	0,1180 AB	-10,4
3	0,1581 A	-9,8	1	59,3 AB	-18,4	2	0,0873 AB	-33,7
1	0,1372 A	-21,7	2	46,7 B	-35,8	1	0,0849 B	-35,5
0,1752 (±0,0693)*			72,7 (±20,8)*			0,1317 (±0,0713)*		

SF: Superioridad fenotípica; * promedio y desviación estándar. Promedios con letras distintas son estadísticamente diferentes según la prueba Tukey ($\alpha = 0,05$).

en este sitio solamente el clon 16 formaría parte de la población potencial de mejoramiento, su SF corresponde a 12,5 % y de solo utilizar dicho clon se obtendría una diferencia promedio de 4,05 m³ ha⁻¹ a los 5,9 años.

Incluir la variable sanidad en un análisis fenotípico es de vital importancia, no obstante, darle seguimiento en el tiempo lo es todavía más. Por esto, se presentan los resultados del Sitio Cutris (Cuadro 4).

Los clones 6, 5, 3 y 4 permanecen en la población potencial comercial a los 2,9 y 5,9 años por medio de los resultados en VCC. La evaluación a los 5,9 años supera la mitad del turno esperado para la especie, cumple el periodo recomendado para la adecuada identificación de genotipos superiores [24]. Por el contrario, el 2, 7, 15 y 10 formaban parte de este subconjunto a los 2,9 años y a los 5,9 años no. Por otra parte, los clones 16 y 12 no conformaban esta población en la primera evaluación y en la segunda sí, adicionalmente ambos obtuvieron baja susceptibilidad a la enfermedad a los 5,9 años. Esto puntualiza de nuevo la importancia de monitorear el desempeño de los distintos materiales genéticos para cada sitio [17], [19]. Si se logra establecer una relación juvenil-maduro efectiva entre las variables de estudio y la productividad [24], la selección juvenil podría reflejar un impacto económico positivo.

Mediante el mejoramiento genético de la especie se puede identificar los clones con menor grado de susceptibilidad [8], con ello se abre la posibilidad para generar un siguiente conjunto genético de mejoramiento que también contemple, entre las variables de interés, la afectación por patologías. Al respecto, todos los genotipos que conforman la población potencial comercial (clones 16, 12, 6, 5, 3 y 4) resultaron poco susceptibles a la enfermedad para este sitio, exceptuando el 16 y 3 que se registraron en la categoría intermedia. A partir de lo anterior se confirma el supuesto de que existe material genético menos propenso con el cual se puede establecer una plantación clonal exitosa [7]. Identificar clones poco afectados por enfermedades a edad temprana, con buena respuesta ante el daño, representa una ventaja para todo programa de selección o mejoramiento genético, todavía más si presentan un rendimiento adecuado en crecimiento [22].

Al respecto cabe destacar que todos los genotipos que se identifican como de baja susceptibilidad a los 2,9 años se mantuvieron dentro de ese selecto grupo en la segunda evaluación (5,9 años), a excepción del clon 6. Adicionalmente, se denota el efecto positivo del aclareo realizado sobre la masa al incrementarse el conjunto de clones catalogados como menos susceptibles de 7 a 10 genotipos entre la primera y segunda evaluación, además de no reportarse clones de alta susceptibilidad a

Cuadro 6. Crecimiento, calidad y susceptibilidad a la enfermedad pudrición en el tronco de clones de *Gmelina arborea* en dos momentos de medición en el sitio Guatuso, Alajuela, Costa Rica.

Table 6. Growth, quality and susceptibility to rot disease in the trunk of *Gmelina arborea* clones at two measurement times at the Guatuso site, Alajuela, Costa Rica.

Volumen Comercial		Volumen Comercial Calidad		Severidad		Incidencia		Susceptibilidad	
3,3 años	4,3 años	3,3 años	4,3 años	3,3 años	4,3 años	3,3 años	4,3 años	3,3 años	4,3 años
8*	10*	7*	10*	5	7	5	7	5	7
7*	11*	11*	13*	6	3	6	3	6	3
9*	13*	9*	4*	7	9	7	9	7	9
11*	9*	8*	7*	3	11	3	11	3	11
4*	6*	5*	11*	4	12	4	12	4	12
5*	7*	4*	6*	9	6	9	6	9	6
13*	8*	13*	12*	12	8	12	8	12	8
12*	5	12*	5*	13	13	8	13	13	13
6	12	6	9	11	4	11	4	11	4
3	4	3	8	8	5	13	5	8	5
10	2	10	3	2	10	2	10	2	10
2	3	1	2	10	2	10	2	10	2
1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
15		15		15		15		15	

*Población potencial comercial; **Azul:** tercio superior, **Negro:** tercio intermedio, **Rojo:** tercio inferior

los 5,9 años. De acuerdo con Murillo-Gamboa et al. [7] la enfermedad avanza a mayor velocidad en cuanto mayor es el grado de severidad, por lo que recomiendan un raleo fitosanitario antes de los 2 años que puede disminuir la velocidad del avance e incluso controlarla. Por su parte, Salas-Rodríguez et al. [8] agregan que los raleos deben ser oportunos por lo bajo, es decir, principalmente los árboles que muestren síntomas de enfermedad, calidad inferior o suprimidos. Precisamente, esa fue la condición presentada por los genotipos 11, 15 y 1, al encontrarse entre los de mayor susceptibilidad a los 2,9 años.

Lo anterior no implica que dichos clones deban eliminarse de la base genética del programa de mejoramiento, al igual que con todos los genotipos es recomendable calcular su heredabilidad para determinar el grado en que los genes influyen en su desempeño en relación con el ambiente en prueba [19]. De esta manera, se puede tomar una decisión más apropiada sobre el destino de todos ellos dentro del programa de mejoramiento clonal.

Sitio Guatuso a los 4,3 años

A los 4,3 años se reportaron diferencias estadísticas en C % y VCC (ver Cuadro 5), lo anterior es un indicio que ambiente cuenta con las condiciones para que el conjunto clonal evaluado exprese su diversidad potencial, de acuerdo con lo reportado por [5].

En la evaluación del VC no se registraron diferencias estadísticas entre genotipos a los 4,3 años. Adicionalmente, se obtuvieron valores promedio de IMA por árbol en DAP = 4,47 cm, HC = 2,94 m, VC = 0,0404 m³ y VCC = 0,0304 m³. Se identificaron los clones 10 y 13 como la población potencial de mejoramiento (Figura 4), el promedio de fue 17,1 % de SF, lo que corresponde a 10,18 m³ ha⁻¹ por encima del promedio poblacional. En el Cuadro 5 se muestra que los genotipos 10 y 13 se mantuvieron en las primeras tres posiciones para las todas las variables evaluadas (VC, C % y VCC), caso contrario el 1 y 2. Adicionalmente, los genotipos 10 y 13, el 4, 7, 11, 6, 12 y 5 conforman la población potencial comercial, representan el 61,5 % de todo el conjunto clonal. El promedio de esta subpoblación es 3,24 m³ ha⁻¹, es decir un 5,5 % de SF sobre toda la población evaluada.

Cabe resaltar el desempeño del genotipo 4 el cual, además de formar parte de la población potencial comercial y registrar el valor más deseable de C % de todo el conjunto clonal, se ubicó en la tercera posición en VCC. Esto lo convierte en un firme candidato para futuros cruces controlados con genotipos que resultaron superiores en otra variable de interés. A los genotipos sobresalientes se les debe calcular sus parámetros genéticos, con el objetivo de contar con un parámetro adicional en la identificación de los mejores, en las condiciones específicas del sitio [5]. Utilizar, de manera ventajosa,

la ganancia genética aditiva de los clones probados podría asegurar fácilmente mejoras sustanciales para el rendimiento de futuras plantaciones [6]. La variabilidad documentada en esta investigación, expresada a través del porcentaje de SF especialmente en VCC, apunta que es posible mejorar la productividad por unidad de área, al utilizar exclusivamente los genotipos con el mejor desempeño para cada condición de sitio, tanto en parámetros dasométricos como de sanidad (Cuadro 6).

El 54 % del conjunto clonal se cataloga como de baja susceptibilidad a la enfermedad en la evaluación a los 4,3 años (Cuadro 6). En ese momento su valor de incidencia fue de 12,8 y severidad de 13,3 %. Arguedas et al. [25] realizaron un muestreo de estas variables para la enfermedad pudrición en el tronco en 16 plantaciones de melina, distribuidas en diferentes puntos de Costa Rica. Los autores reportan rangos para ambas variables, con variaciones comprendidas entre 0 y 58 % en incidencia y de 0 a 28 % en severidad. Por su parte, Ávila-Arias et al. [3] reportaron valores para dos condiciones de sitio a los 3,2 años más altos que los aquí registrados. Salas-Rodríguez et al. [16] evaluaron dos procedencias de melina clonal, en el Pacífico Sur de Costa Rica a los 4,7 años, registraron valores promedio de 20,1 y 21,3 % en incidencia, así como 12,3 y 13,5 % en severidad para las procedencias norte y sur, respectivamente.

Al comparar los resultados del Pacífico Sur con los que se obtiene en este sitio, se observa que en Sitio Guatuso hubo menor cantidad de individuos afectados. No obstante, en términos gravedad del ataque los sitios son semejantes. Autores como [3] y [16] apuntan que diferencias en el comportamiento de los conjuntos genéticos, en términos de su susceptibilidad, pueden ser producto de variables edafológicas y silviculturales. Arguedas et al. [25] coinciden con lo anterior al reportar correlación positiva entre la cantidad de arcilla en la capa del suelo entre 10 cm y 20 cm con ambas variables (edafológica), la misma relación entre severidad y número de árboles por hectárea (manejo). Esto sugiere que, con una silvicultura adecuada los genotipos podrían registrar un mejor comportamiento en la susceptibilidad a la enfermedad.

Los clones 13 y 10, que se identifican como la población potencial de mejoramiento (Figura 4), se catalogan como de media a alta susceptibilidad a la enfermedad. Se debe tener especial atención a estos genotipos con buen desarrollo dasométrico. No obstante, valores no deseables en susceptibilidad a la enfermedad, determinar los valores de heredabilidad media clonal y coeficientes de variación genética ayudaría en su selección definitiva [8] y, eventualmente, puede marcar la línea en el futuro del programa de mejoramiento. Es de resaltar que los genotipos 7, 11, 6, 12 y 9, además de formar parte de la población potencial comercial, también se identifican

como poco susceptibles a la enfermedad (Cuadro 6). Los clones 1 y 2, aparte de haberse ubicado en las últimas posiciones para las variables dasométricas, también lo hicieron al registrar la mayor susceptibilidad a la enfermedad.

Al respecto [7] afirman que, las clases diamétricas inferiores son las más afectadas por la enfermedad, es decir, una mayor susceptibilidad puede estar relacionada con la posición sociológica de los individuos. Identificar tendencias de ciertos genotipos, en distintas variables, es importante para su selección o descarte en distintas condiciones de sitio. El seguimiento en el tiempo a una posible tendencia permite agruparlos para distintos usos finales, todavía más al comprender las variaciones edad-edad y su correlación con la madurez [17], [19].

Conclusiones

Se identificó la población potencial de mejoramiento y la comercial para los tres sitios incluidos en la presente investigación, con base en la evaluación del desempeño de los genotipos para variables dasométricas y de calidad. Además, se clasificaron de acuerdo con su susceptibilidad a la enfermedad de pudrición en el tronco.

En el Sitio Upala a los 2,8 años, la población potencial de mejoramiento está conformada por los clones 3, 9, 4 y 11, a los que se le deben sumar el 10, 5, 8 y 13 para completar la población potencial comercial. Esta población es 10,4 % superior al conjunto total evaluado, cuyo impacto se traduce en una diferencia de 2,21 m³ ha⁻¹. El genotipo 1 se identifica como de baja susceptibilidad a la enfermedad pudrición del tronco y el 3, 5, 6, 7, 8, 11 y 16 como de susceptibilidad media.

En el Sitio Cutris a los 5,9 años, la población potencial de mejoramiento está conformada únicamente por el clon 16, adicionalmente el 12, 6, 5, 3 y 4 forman parte de la población comercial. Esta población mejoraría la productividad en 1,73 m³ ha⁻¹, superior fenotípicamente en 5,3 %. Todos esos genotipos, excepto el 6, se catalogaron como poco susceptibles a la enfermedad, a cuya lista también deben agregarse los clones 7, 9, 8, 13 y 10.

En el Sitio Guatuso en la evaluación a los 4,3 años, los clones 10 y 13 conforman la población potencial de mejoramiento, a los que se debe incluir el 4, 7, 11, 6, 12 y 5 para conformar la población potencial comercial. La SF registra 10,4 %, por tanto, la población aumenta el VCC del sitio en 3,24 m³ ha⁻¹. Los clones identificados como de poco susceptibles son 3, 6, 7, 8, 9, 11 y 12.

Las poblaciones identificadas en cada sitio tienen el potencial fenotípico para mejorar la productividad de la

unidad de producción. No obstante, es necesario calcular los parámetros genéticos que respalden dicha premisa.

Agradecimientos

Al Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional (INISEFOR-UNA) de Costa Rica, por permitir el desarrollo y financiar esta investigación.

Referencias

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Censos, “Encuesta Nacional Agropecuaria 2018 (Nuestra actividad agrícola y forestal)”, 2018. [En línea]. Disponible en: https://admin.inec.cr/sites/default/files/media/reena-pecuario-2018.pdf_2.pdf,
- [2] W. S. Dvorak, “World view of *Gmelina arborea*: opportunities and challenges”, *New Forest*, vol 28, no. 2, pp. 111-126, 2004.
- [3] C. Ávila-Arias, A. Salas-Rodríguez, y R. Murillo-Cruz, “Selección de genotipos superiores de *Gmelina arborea* Roxb. por su heredabilidad genética a la tolerancia de la enfermedad de pudrición en el tronco, Pacífico sur de Costa Rica”, *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 13, no. 32, pp. 11-20, 2016
- [4] A. Barrantes, y S. Ugalde, “Usos y aportes de la madera en Costa Rica (estadísticas 2018 y precios 2019)”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://onfcr.org/wp-content/uploads/2019/11/USOS-Y-APORTES-DE-LA-MADERA-2018.pdf>
- [5] C. Ávila-Arias, R. Murillo-Cruz, O. Murillo-Gamboa, y C. Sandoval-Sandoval, “Desarrollo juvenil de clones de *Gmelina arborea* Roxb., en sitios planos del Pacífico sur de Costa Rica”, *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 12, no. 28, pp. 23-35, 2015.
- [6] A. Kumar, Sativa, H. S. Ginwal, S. Dobhal, S. Sharma, P. Shrivastava, A. Rana, y R. Kumar, “Development and release of high yielding clones of *Eucalyptus tereticornis* SM”, *Indian Forester*, vol. 143, no. 12, pp. 1221-1225, 2017.
- [7] O. Murillo-Gamboa, A. Salas-Rodríguez, R. Murillo-Cruz y C. Ávila-Arias, “Tasa de avance de la pudrición en el tronco en melina *Gmelina arborea* Roxb. y posibilidades de manejo”, *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 13, no. 32, pp. 40-50, 2016
- [8] A. Salas-Rodríguez, O. Murillo-Gamboa, R. Murillo-Cruz, y C. Ávila-Arias, “Evidencia de la tolerancia genética a la pudrición del tronco en clones de *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica”, *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 13, no. 32, pp. 30-39, 2016
- [9] E. P. Indira, “Provenance variations in *Gmelina arborea* with particular reference to tree form”, *Journal of Tropical Forest Science*, vol. 18, no. 1, pp. 36-50, 2006.
- [10] L. F. Osorio, “Provenance results of *Gmelina arborea* in southwest Colombia at three years of age”, *New Forest*, vol. 28, pp. 179-185, 2004.
- [11] J. A. Méndez, y L. F. Pérez, “La reforestación con especies nativas: análisis de la situación en la Región Huetar Norte de Costa Rica”, *Ambientico*, no. 267, pp. 23-27, 2018.
- [13] L. Holdrige, *Life Zone Ecology*. San José, CRC: Tropical Science Center, 1967.
- [14] D. Zeaser, y R. Murillo, “Conceptos generales sobre la selección de sitios para plantar melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en el sur de la provincia de Puntarenas”, *STON Forestal S.A, Departamento de Investigación y Desarrollo, Buenos Aires, Puntarenas, CRC. Reporte*. 24-95. 1995.
- [15] O. Murillo, y Y. Badilla, “Calidad de la plantación forestal”, *Escuela de Ingeniería Forestal-ITCR, Cartago, CRC, 2010. (Información sin publicar)*.
- [16] A. Salas-Rodríguez, O. Murillo-Gamboa, R. Murillo-Cruz, C. Ávila-Arias, y X. Mata-Granados, “Evaluación de la severidad de la pudrición en el tronco en *Gmelina arborea* Roxb”, *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 13, no. 32, pp. 01-10, 2016
- [17] A. Kumar, R. K. Luna, Parveen, y V. Kumar, “Variability in growth characteristics for different genotypes of *Eucalyptus tereticornis* (SM.)”, *Journal of Forestry Research*, vol. 21, no. 4, pp. 487-491, 2010
- [18] R. Murillo, “Evaluación de algunos factores ambientales que afectan la calidad de sitio, a nivel de micrositio para la melina del huerto semillero de Ston Forestal, plantada en suelos planos y fértiles de la zona sur”, *Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional, Heredia, 1996*
- [19] A. Kumar, “Growth performance and variability in different clones of *Gmelina arborea* (Roxb.)”, *Silvae Genetica*, vol. 56, no. 1, pp. 32-36, 2007
- [20] H. C. Balcorta-Martínez y J. J. Vargas-Hernández, “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*, vol. 10, no. 1, pp. 13-19, 2004
- [21] O. Corpuz, “Growth and heritability of three year old *Gmelina* plantation”, en **National Research and Development Conference**, Philippines, 2011.
- [22] S. Sampayo-Maldonado, J. López-Upton, V. Sánchez-Monsalvo, y M. Jiménez-Casas, “Genetic parameters of growth, and resistance to the shoot borer, in young clones of the tree *Cedrela odorata* (Meliaceae)”, *Revista de Biología Tropical*, vol. 67, no. 3, pp. 554-561, 2019.
- [23] A. Kumar y G. P. S. Dhillon, “Clonal testing of *Eucalyptus* clones and estimation of their genetic parameters”, *Indian Forester*, vol. 142, no. 2, pp. 127-132, 2016.
- [24] F. M. Padua, “Juvenile selection of *Gmelina arborea* clones in the Philippines”, *New Forest*, vol. 28, pp. 195-200, 2004.

- [25] M. Arguedas, M. Rodríguez-Solis, R. Moya, y A. Berrocal, "*Gmelina arborea* "death disease" in fast-growth plantations: Effects of soil and climatic conditions on severity and incidence and its implications for wood quality". *Forest systems*, vol. 27, no. 1, pp. 1-13, 201