

Desarrollo juvenil de clones de *Gmelina arborea* Roxb.

de dos procedencias, en sitios planos del Pacífico Sur de Costa Rica

Carlos Ávila-Arias ^{1*}

Rafael Murillo-Cruz ²

Olman Murillo-Gamboa ³

Christopher Sandoval-Sandoval ⁴

Resumen

El objetivo de esta investigación fue identificar si hay diferencias en el desarrollo dasométrico y en la calidad entre clones y procedencias plantadas en sitios planos. Se evaluaron a los 27 meses los parámetros diámetro a la altura de pecho (DAP), altura comercial, volumen comercial con corteza, calidad y volumen comercial de calidad, sobre clones procedentes de zona norte y zona sur. Se realizó un Análisis de varianza para cada parámetro por procedencia y clon, además una prueba de medias de Tuckey ($\alpha = 0,05$), utilizando el software SAS versión 9.2. No se registraron diferencias estadísticamente significativas en los clones de ambas procedencias para ninguna de las variables evaluadas en Finca La Amapola. Para ese sitio, los clones zona sur registraron 97% más de volumen comercial de calidad comparados con los de zona norte. Ese mismo parámetro registró la mayor

Abstract

The purpose of this study was to identify differences in the dasometric and quality development between clones and provenances planted on flat sites. The parameters diameter at breast height (DBH), commercial height, commercial bark volume, quality and quality commercial volume on clones from north and south provenances were evaluated at 27 months old. An Analysis of variance and Tuckey test ($\alpha = 0,05$) for each source and clone parameter, using the SAS software, were applied. No statistically significant differences were observed in clones from both sources for any of the variables evaluated in Finca La Amapola. For this site, the south provenance clones showed 97% more trade volume of quality compared to north. This same parameter showed the highest phenotypic variation, which is important for subsequent stages, although the heritability was low.

1. Universidad Nacional, Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR); Heredia, Costa Rica; carlosenriquea79@gmail.com; +(506) 2562-4600 *Autor para correspondencia.

2. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal (GENFORES); Cartago, Costa Rica; murillorafael5454@yahoo.com

3. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal; olmuga@yahoo.es

4. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal (GENFORES); Cartago, Costa Rica; cris.sandoval@una.cr

variación fenotípica, lo que es importante para etapas posteriores, aunque la heredabilidad fuese baja. Finca Puntarenas, con suelos clase I para la producción de melina, sí permitió que los conjuntos genéticos expresaran su verdadero potencial, con lo que se identificó el clon 10 como el de menor desarrollo y los clones 22 y 11 como los de mayor desarrollo en volumen comercial de calidad. En dicho sitio, los clones de zona sur registraron una calidad promedio de 87,4% y máxima de 96,7% para el clon 23. Se registraron incrementos medios anuales (IMA) en volumen comercial ligeramente inferiores a los valores máximos de 50 m³ ha⁻¹ año⁻¹ en volumen total, encontrados en la literatura.

Palabras clave: *Gmelina arborea*, selección de clones, volumen comercial de calidad, Costa Rica.

Finca Puntarenas, class I for the production of melina, did allow genetic sets express their true potential, so that the clone 10 as the less developed and clones 22 and 11 as the most development was identified by quality commercial volume. On that site, south clones showed an quality average of 87,4%, and a maximum of 96,7% for clone 23.

Keywords: *Gmelina arborea*, clones selection, quality commercial volume, Costa Rica.

Introducción

La melina (*Gmelina arborea* Roxb.) es una especie de la familia Lamiaceae (De Kok, 2012), nativa de India, Bangladesh, Sri Lanka, Myanmar, Tailandia, sur de China, Laos, Camboya y Sumatra en Indonesia. En Costa Rica ha ocupado un rol fundamental como generadora de materia prima principalmente para productos de embalaje. El 30,4% del área plantada, sometida al Programa de Pago de Servicios Ambientales desde el año 1998 al 2008, corresponde a dicha especie (FONAFIFO, 2010). La misma presenta rápido crecimiento y fácil adaptación a diversidad de condiciones de sitio, así como gran variedad de usos para su madera (Rojas et al. 2004, Rojas y Murillo 2004, Indira 2006); además de ofrecer a los productores e inversionistas un rápido retorno de su capital invertido (Wee, Dvorak & Hong, 2012), por ser de fácil trabajabilidad y buen acabado; además de poder ser utilizada en una amplia variedad de productos como muebles de alta calidad (Sánchez y Romero, 2004), así como contrachapados, aserrío, construcción, tarimas, leña, artesanía, cajonería, pulpa para papel, embalajes, postes, tableros, carpintería, tableros y aglomerados (Murillo & Valerio, 1991, Rojas, Arias, Moya, Meza, Murillo & Arguedas, 2004, Hodge & Dvorak, 2004, Indira, 2006, ONF, 2010). Dvorak (2004) estimó que para el 2020 podrán haberse establecido 800 000 hectáreas de plantaciones de melina en regiones tropicales y subtropicales, lo que la convierte en una significativa opción para garantizar el abastecimiento de materia prima para la industria forestal en dichas regiones (Padua, 2003, Balcorta & Vargas, 2004, Obregón, 2006, Kumar, 2007, Wee et al., 2012). Lo anterior acentúa la necesidad de contar con información actualizada y precisa relacionada a su producción intensiva.

Sumado a lo anterior, la producción de *Gmelina arborea* en la última década mantuvo a la zona sur en constante actividad comercial con el resto de las zonas de Costa

Rica, convirtiéndola en la zona donde se encontraban fuentes importantes de materia prima para producir principalmente tarimas, pero además madera para construcción. Sin embargo, en los últimos años se ha presentado una tendencia de aumento en el consumo de madera y una disminución sostenida de la tasa de establecimiento de plantaciones a nivel nacional, lo que ha puesto al país frente a una crisis en el suministro de materia prima proveniente de fuentes renovables (Corella, 2009). El mismo autor, hizo referencia al déficit en la producción de madera en nuestro país, indicando que el aporte de las plantaciones sólo lograría cubrir una porción muy pequeña de la demanda creciente. Así mismo, determinó que si adicionalmente se plantaran 2 000 ha anuales en forma sostenida para convertirlas en sitios de producción forestal continua, el déficit sería cubierto en el año 2018.

Con el fin de maximizar la producción por unidad de superficie, tanto en cantidad como en calidad, se debe evaluar el crecimiento y la forma de los materiales genéticos de melina que en éste momento se comercializan.

Padua (2004) apunta que una mejora considerable en el rendimiento de las plantaciones forestales se puede lograr a través de la selección y utilización de clones de alto rendimiento. Sin embargo, Cornelius (1994) y Franzel et al. (1996) concluyen que la selección de esos árboles con características superiores para la producción forestal podría ser ineficaz si no se lleva a cabo correctamente, logrando ganancias cercanas a cero. Al respecto, Cornelius (1994) indicó que ganancias genéticas de hasta 15% en altura y 35% en volumen se podrían conseguir fácilmente mediante una selección más integral del árbol, haciendo hincapié en que la ganancia a obtener depende de la intensidad de la selección, la variación genética y la heredabilidad de los rasgos evaluados. Por su parte, Kumar (2007) y Corpuz (2011) apuntaron

que la aplicación de la silvicultura clonal en *Gmelina arborea* podría aumentar la productividad y contribuir de manera sustancial en la reducción de la brecha entre la oferta y la demanda; sin embargo, son enfáticos recalando que sólo se tendría éxito trabajando material con características genéticamente superiores mediante enfoques clonales. La variabilidad genética de la melina apunta a ganancias en productividad al identificar y utilizar los clones con el mejor desempeño. Al respecto, Padua (2004) evaluó 11 clones de melina a edad temprana y obtuvo un 50% más de volumen por hectárea al comparar el clon ubicado en la parte superior del rango o categoría con respecto a la media de todo el material evaluado. Cuando se comparó ese mismo clon con el de menor crecimiento del conjunto genético registró 130% más de volumen. En el Cuadro 1 se presentan ganancias en volumen, altura y/o diámetro encontradas por varios autores según distintos materiales genéticos en melina.

La ganancia real obtenida por algunos autores al utilizar material con algún grado de selección fue de hasta el 49,8% para clones de melina como el obtenido por Padua (2004). En los ensayos de procedencias de melina se tuvieron ganancias en altura total que van desde 4,4% (Lokmal, 1994) hasta un 27% obtenido por Osorio (2004). El mismo autor obtuvo una ganancia en volumen total de 82%; lo anterior refuerza la tesis de que la variabilidad inclusive en material con cierto grado de selección es muy amplia, y por lo tanto si se desea tener los mejores rendimientos, necesariamente se debe realizar investigación aplicada en la selección de material fenotípicamente superior y su posterior prueba en campo mediante ensayos científicamente instalados.

En resumen, la selección, investigación y seguimiento de material con algún grado de selección trae consigo resultados positivos a corto, mediano y largo plazo para los productores; sin embargo, se debe seguir investigando en materiales juveniles para lograr extrapolar dicha información a materiales maduros (Herasme-Montas, 1997, Padua, 2004, Hodge & Dvorak, 2004).

El Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional (INISEFOR-UNA) ha generado iniciativas de investigación que promueven el establecimiento y manejo intensivo de las plantaciones forestales, con la finalidad de aportar información indispensable para la correcta y científica toma de decisiones. El objetivo de la presente investigación fue identificar y cuantificar diferencias en el desempeño de clones procedentes de una colección genética de la zona norte y otra de la zona sur de Costa Rica, en cuanto a su diámetro a la altura del pecho a 1,30 cm del suelo (DAP), altura comercial, volumen comercial y la calidad, en plantaciones de 27 de meses de edad, evaluadas en ensayos clonales establecidos en los cantones de Osa y Golfito, Pacífico Sur de Costa Rica.

Materiales y métodos

Descripción de los sitios

Se trabajó en dos ensayos de clones que el INISEFOR-UNA instaló con la especie *Gmelina arborea* especie muy conocida para plantaciones forestales. Ambos ensayos fueron evaluados a los 27 meses de haberse instalado. Los sitios donde se establecieron los ensayos fueron los siguientes:

Finca Puntarenas: se encuentra ubicada en el cantón de Osa y el distrito Palmar, en las coordenadas geográficas N 8°49'50" y W 83°18'27". A partir del año 1930 en adelante la finca fue usada para el cultivo de banano y luego en plátano. La topografía es casi plana con una pendiente de no más de 2%. Los suelos son inceptisoles, no presenta problemas de fertilidad ni de encharcamiento producto de inundaciones por eventos excesivos de lluvia y presenta más de 1 metro de profundidad efectiva de raíces, de origen aluvial debido a la influencia del Río Sesenta. El sitio cumple con los requerimientos para un óptimo desarrollo de la especie (Murillo & Valerio, 1991, Murillo, 1996, Rojas et al. 2004, Espinoza, 2004, Murillo & Ávila, 2011), es catalogado como sitio clase I para la

Cuadro 1. Progreso genético en *Gmelina arborea* para distintas variables dasométricas según distintos autores.

Table 1. Progress genetics in *Gmelina arborea* for different dasometric variables by several authors.

Autor	Lugar de evaluación	Material genético	Parámetro evaluado	Ganancia sobre media (%)
Osorio 2004	México	Procedencias	Altura total	27.0
Osorio 2004	México	Procedencias	Volumen	82.0
Hodge & Dvorak 2004	Varios países tropicales	Procedencias	Altura total	14.0
Hodge & Dvorak 2004	Varios países tropicales	Procedencias	Volumen	44.0
Lokmal 1994	Malasia	Procedencias	Altura total	4.4
Lokmal 1994	Malasia	Procedencias	DAP	8.6
Kumar 2007	India	Clones	Altura total	18.1
Kumar 2007	India	Clones	DAP	30.1
Padua 2004	Filipinas	Clones	Volumen comercial	48.9



Figura 1. Visitas del ensayo clonal con *Gmelina arborea* establecido en Finca Puntarenas.

Figure 1. Visit to clonal experiment with *Gmelina arborea* located in Finca Puntarenas.

producción de melina. En la Figura 1 se aprecian dos vistas de este ensayo.

Finca La Amapola: ubicada en el cantón de Golfito y el distrito Puerto Jiménez, localidad La Palma, en las coordenadas geográficas N 8°36'49" y W 83°26'10". El relieve es plano, con no más de 1% de pendiente, a una altitud de 26 m.s.n.m. El sitio fue utilizado por mucho tiempo en ganadería y recientemente en el cultivo de arroz por lo que en el momento de la instalación de los ensayos presentaba un horizonte A con problemas de compactación a los 30 cm de profundidad (pie de arado), con drenaje desde lento hasta muy lento, catalogado como clase III para producción de melina. Son suelos profundos con más de 1,35 m, de origen aluvial debido a la influencia del Río Conte. En la Figura 2 se aprecia una vista panorámica de dicho sitio.

Como parte de la preparación del sitio para el establecimiento de los ensayos, el terreno fue rastreado y se hicieron camellones o lomillos de tierra muy artesanales, ambas prácticas para evacuar del sitio el agua encharcada, aumentar la profundidad efectiva de raíces y finalmente, mejorar en el mediano plazo la estructura del suelo y la aireación subterránea. Debido a ésta preparación previa del suelo, el sitio pasó de ser clase III a clase II para la producción de *Gmelina arborea*.

Descripción de los ensayos

Ambos ensayos clonales fueron instalados como parte del Proyecto *Mejoramiento de la capacidad productiva de pequeños y medianos reforestadores de la zona sur* del INISEFOR-UNA. En los dos sitios se instalaron un total de 24 clones, 12 de los cuales con procedencia zona norte y los otros 12 clones procedencia zona sur. Los conjuntos genéticos fueron facilitados por la Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal (GENFORES) a través del asociado CoopeAgri.

El conjunto de clones de cada procedencia fue instalado por separado en un solo ensayo, mediante un diseño de bloques completos al azar. Por problemas en la

multiplicación del material, en cada sitio se debieron instalar ambas procedencias como ensayos individuales. Por lo tanto, los clones de ambas procedencias fueron evaluados separadamente en ambos sitios. Cada ensayo contó con seis bloques completos al azar, dentro de cada bloque se incluyeron seis árboles de cada clon, ellos fueron instalados en el campo en parejas aleatoriamente distribuidas dentro de cada bloque (Murillo 2011) (Figura 3). En resumen, cada ensayo constó de seis bloques completos al azar, con doce clones y treinta y seis árboles por clon. Los ensayos en ambos sitios fueron instalados con un distanciamiento tanto entre líneas como entre árboles de 3,5 m, por lo que cada ensayo cubría un área neta de 5 292 m².

Variables de la investigación

Las variables independientes de esta investigación fueron:

Sitio: la expresión de las variables independientes pueden estar condicionadas y directamente afectadas con su interacción con el sitio e inclusive con el micro-sitio (Murillo, 1996). Es por ello que la preparación inicial del terreno en cada sitio fue igual para ambas procedencias. Se realizó un modelo de diseño de bloques completos al azar tanto en Finca La Amapola como en Finca Puntarenas, para identificar las condiciones ambientales de micro-sitio que pudieran afectar el desempeño de los clones y procedencias, tanto en crecimiento como en calidad, con el fin de disminuir al mínimo posible la variabilidad del sitio dentro de cada bloque.



Figura 2. Vista del ensayo clonal con *Gmelina arborea* establecido en Finca La Amapola.

Figure 2. View of clonal experiment with *Gmelina arborea* located in Finca La Amapola.

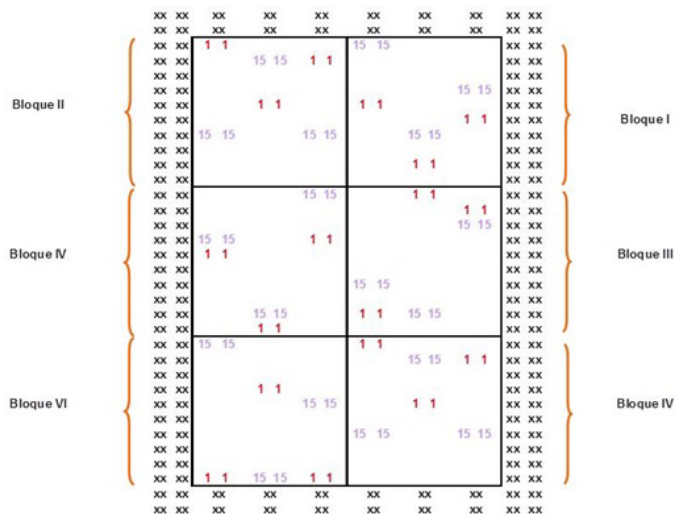


Figura 3. Diseño experimental bloques completos al azar desarrollado por GENFORES.

Figure 3. Complete random blocks experimental design created per GENFORES.

Procedencia: se evaluaron dos procedencias de los clones: zona norte y zona sur. Con base en el análisis de las variables dependientes se determinó cuál de las procedencias provee los clones mejores de desarrollo del árbol a los dos años de edad para cada sitio.

Clones: pertenecen a la base genética que comparten los miembros de GENFORES del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Como variables dependientes se consideraron las que se podían ver afectadas por los tratamientos que se realizaron en el ensayo, para ésta investigación fueron:

Diámetro altura de pecho (DAP): se midió el diámetro normal (a 1,3 m) para cada árbol utilizando cinta diamétrica.

Altura comercial: se estimó a partir de la cantidad de trozas comerciales posibles de 2,5 m de largo en cada árbol.

Volumen comercial con corteza: se estimó mediante la función:

$$Vol_{com} = \left(\frac{DAP}{100}\right)^2 \cdot 0,7854 \cdot h_{com} \cdot 0,65 \quad (1)$$

Calidad: La calidad del árbol se estimó con el promedio ponderado de la calidad individual de sus primeras cuatro trozas comerciales de 2,5 m de largo cada una. El peso ponderado de la troza en el fuste se basó en su aporte al volumen total de los primeros 10 metros de fuste (Murillo y Badilla, 2010):

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

Finalmente, el valor de calidad del árbol se convirtió en una variable continua que registró valores de “1” a “4”, donde 1 es el máximo valor. La calidad se transformó de la escala original de “1” a “4” a una escala de 1 a 100 para facilitar su comprensión e interpretación, así:

$$Calidad_{Base100} = 100 \cdot \left\{1 - \left[\frac{calidad-1}{3}\right]\right\} \quad (3)$$

Volumen comercial de calidad: se tomó el volumen comercial con corteza y se penalizó por el valor de su calidad en escala 0 – 100%. Por ejemplo, si un árbol reportaba un volumen comercial con corteza de 1 m³, con una calidad de 60%. Entonces: 1 m³ * 0,6 = 0,6 m³ de volumen comercial de calidad.

Análisis estadístico

Para la comprobación de las hipótesis se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA) para datos no balanceados en cada una de las variables DAP, altura comercial, volumen comercial con corteza, calidad y volumen comercial de calidad. Posteriormente, se aplicó la prueba de medias de Tuckey ($\alpha = 0,05$), como comparador múltiple que permitió identificar diferencias significativas entre los clones evaluados, para evaluar su desempeño a lo interno de cada procedencia. Previamente se realizó la verificación del cumplimiento de los tres enunciados de la estadística paramétrica de los datos. Para todo lo anterior se utilizó el software SAS versión 9.2.

Resultados y discusión

La evaluación del desempeño del material genético, tanto dasométrico como en su forma y calidad, en los distintos sitios donde se desee establecer plantaciones comerciales, es el principal factor considerado por la mayoría de los programas de mejoramiento forestal (Indira, 2006) si se busca aumentar el rendimiento por hectárea mediante las prácticas de silvicultura clonal aplicadas a los mejores clones (Padua, 2003). En el Cuadro 2 se presentan datos de cinco variables dasométricas registradas a los 2,25 años de edad para los clones procedentes de zona norte en Finca La Amapola, basados en las pruebas de medias realizadas.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Los valores de DAP registrados variaron en un ámbito que varió desde 15,39 cm hasta 17,02 cm, la calidad de los árboles registró valores desde 17,68% hasta 31,68%, el volumen de calidad de los clones procedentes de la Zona Norte varió desde 0,0170 m³ árbol⁻¹ hasta 0,0356 m³ árbol⁻¹. Este conjunto genético, desarrollado en Finca La Amapola, registró en promedio los siguientes valores de IMA por árbol: DAP= 8,07 cm año⁻¹, altura comercial= 3,5 m año⁻¹ y volumen comercial = 0,0491 m³ año⁻¹ (Cuadro 2). Balcorta

Cuadro 2. Medias de cinco variables dasométricas a los dos años de edad de clones procedentes de Zona Norte de Costa Rica establecidos en Finca La Amapola, Golfito; Costa Rica.

Table 2. Arithmetic mean for five dasometric variables at two years of the clones established from North Region to Finca La Amapola, Golfito; Costa Rica.

Diámetro altura pecho (cm)		Altura comercial (m)		Volumen comercial (m ³ árbol ⁻¹)		Calidad (%)		Volumen de calidad (m ³ árbol ⁻¹)	
Clon	Media	Clon	Media	Clon	Media	Clon	Media	Clon	Media
5	17,20 a	1	7,29 a	5	0,1090 a	5	31,68 a	5	0,0356 a
2	16,68 a	5	7,13 a	1	0,1037 a	16	30,57 a	16	0,0286 a
7	16,46 a	4	7,12 a	7	0,1037 a	11	26,98 a	1	0,0286 a
16	16,33 a	7	7,08 a	4	0,1025 a	9	25,92 a	9	0,0280 a
10	16,09 a	10	7,06 a	10	0,0998 a	2	25,81 a	4	0,0272 a
4	16,03 a	9	7,00 a	2	0,0989 a	15	24,45 a	2	0,0256 a
9	16,00 a	15	6,91 a	9	0,0985 a	1	23,26 a	15	0,0248 a
1	15,94 a	14	6,88 a	16	0,0974 a	4	21,23 a	11	0,0248 a
15	15,86 a	11	6,85 a	15	0,0908 a	7	18,83 a	7	0,0234 a
14	15,71 a	16	6,69 a	11	0,0908 a	14	17,82 a	10	0,0196 a
11	15,39 a	2	6,65 a	14	0,0838 a	10	17,68 a	14	0,0170 a
Promedio	16,14		6,97		0,0982		24,02		0,0258

Cuadro 3. Valores medios aritméticos de cinco variables dasométricas a los dos años de edad de clones procedentes de Zona Sur de Costa Rica establecidos en Finca La Amapola, Golfito; Costa Rica.

Table 3. Arithmetic mean values for five dasometric variables at two years of the clones established from South Region to Finca La Amapola, Golfito; Costa Rica.

Diámetro altura pecho (cm)		Altura comercial (m)		Volumen comercial (m ³ árbol ⁻¹)		Calidad (%)		Volumen de calidad (m ³ árbol ⁻¹)	
Clon	Media	Clon	Media	Clon	Media	Clon	Media	Clon	Media
19	17,82 a	20	8,69 a	20	0,1502 a	1	46,17	17	0,0568 ab
20	17,60 a	21	8,56 a	19	0,1444 a	17	44,65	19	0,0564 ab
1	17,45 a	13	8,54 a	21	0,1391 a	24	43,15	11	0,0545 b
21	17,44 a	17	8,50 a	11	0,1358 a	23	42,97	21	0,0534 b
11	17,32 a	16	8,37 a	12	0,1293 a	7	39,80	1	0,0533 b
12	17,31 a	11	8,24 a	17	0,1284 a	16	39,13	13	0,0515 b
17	16,80 a	23	8,10 a	16	0,1283 a	12	37,69	20	0,0499 b
7	16,68 a	12	8,08 a	7	0,1245 a	21	37,30	16	0,0493 b
16	16,52 a	19	7,89 a	13	0,1225 a	23	37,13	7	0,0493 b
13	16,51 a	24	7,87 a	23	0,1185 a	11	36,31	12	0,0454 b
23	16,33 a	7	7,81 a	1	0,1168 a	19	35,86	24	0,0455 b
24	16,27 a	1	7,50 a	24	0,1130 a	20	34,14	23	0,0446 b
Promedio	17,00		8,18		0,1300		39,53		0,0509

Cuadro 4. Comparación de valores medios de los caracteres evaluados para ambas procedencias establecidas en Finca La Amapola, cantón de Golfito, pacífico sur de Costa Rica.

Table 4. Comparison of medium values evaluated character for both origins established in Finca La Amapola, Golfito, Costa Rica South Pacific.

Parámetro	Zona Norte		Zona Sur		Relación ZS vs ZN
	Media	D.E.	Media	D.E.	
Diámetro altura pecho (cm)	16,14	2,68	17,00	2,69	5%
Altura comercial (m)	6,97	2,02	8,18	1,91	17%
Volumen comercial (m ³ árbol ⁻¹)	0,0982	0,0512	0,1300	0,5557	32%
Calidad (%)	24,02	19,85	39,53	19,26	65%
Volumen de calidad (m ³ árbol ⁻¹)	0,0258	0,0281	0,0509	0,0327	97%

& Vargas (2004) en Campeche, México, en condiciones de menor precipitación a las de la presente investigación, reportaron valores en melina del IMA en DAP de 3,5 cm año⁻¹ y en volumen total de 0,011 m³ año⁻¹; resultados muy inferiores a los obtenidos en nuestro estudio. Por su parte, Padua (2003) en Filipinas reportó un IMA en DAP de 4,8 cm año⁻¹ en un ensayo clonal de melina a los seis años inferior al presentado por nosotros y en volumen comercial de 0,12 m³ año⁻¹, que resultó ligeramente superior al encontrado en este ensayo en Finca La Amapola.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($\alpha = 0.05$) para ninguno de los caracteres evaluados en los clones de melina de la zona norte en el sitio La Amapola. De igual manera, Corpuz (2011) e Indira (2006) tampoco encontraron diferencias significativas para algunos de los ensayos de procedencias evaluados, ni en crecimiento ni en calidad, el primero a los tres años y el segundo a los quince años. La evaluación a edades tempranas, dos años de edad, podría explicar la ausencia de diferencias significativas (Tawara, 1996, Lauridsen & Kjaer, 2002, Murillo, 2013 comunicación personal), ya que podría considerarse que es relativamente temprano para apreciar una expresión genética completa de los materiales evaluados. Los árboles de melina son muy susceptibles en actividades de manejo de plantaciones como preparación de sitio, establecimiento de árboles, manejo individual de cada árbol, etc. Pequeñas diferencias en el manejo forestal causan importantes modificaciones del desarrollo de las plantas, especialmente en los sitios donde hay más factores limitantes al crecimiento (Murillo, 2014 comunicación personal). Basados en los 676 árboles ha⁻¹ con los que contaba el ensayo al momento de la evaluación, el volumen comercial fue de 33,1 m³ ha⁻¹ año⁻¹, lo que es sólo ligeramente superior a los 30 m³ ha⁻¹ año⁻¹ que como mínimo la especie debería de crecer en un sitio fértil (Anónimo 1988 citado por Balcorta & Vargas, 2004); y superior a los 25 m³ ha⁻¹ año⁻¹ de volumen total reportados por Sánchez & Romero (2004) en México.

Osorio (2004) afirmó que los árboles de melina frecuentemente tienen características de fuste indeseables, con defectos como bifurcaciones o torceduras a cualquier altura. En los resultados obtenidos en esta investigación, con la procedencia zona norte, se encontró valores promedio de calidad muy bajos (24,02%), similar al 20% reportado tanto por Indira (2006) y por Osorio (2004).

Al analizar la influencia de las condiciones de sitio de las procedencias de Zona Norte y Sur fueron similares en diámetro a la altura del pecho, altura y volumen comercial y porcentaje de calidad (Cuadro 3).

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En ninguno de los caracteres evaluados se logró determinar diferencias estadísticamente significativas entre los clones procedentes de la zona sur ($\alpha = 0,05$). La variación del intervalo, entre los valores máximos y mínimos para las variables estudiadas, fue muy similar al obtenido para la procedencia zona norte que se evaluó en la misma Finca La Amapola (Cuadro 2).

Los clones de la zona sur registraron en promedio los siguientes valores de IMA para el DAP= 8,5 cm año⁻¹, la altura comercial= 4,0 m año⁻¹ y el volumen comercial= 0,0650 m³ año⁻¹. En todos los casos el IMA fue mayor al registrado por los clones procedentes de zona norte. Basados en los 654 árboles ha⁻¹ con los que contaba el ensayo al momento de la evaluación, el IMA en volumen comercial fue de 42,51 m³ ha⁻¹ año⁻¹.

Otro aspecto importante a resaltar es que la clasificación de los clones varió significativamente según el carácter evaluado, es decir, cada clon pudo expresar valores más deseables en un carácter que en otro, por lo que, dependiendo del objetivo final de la plantación, se deberá elegir el (los) clon (es) a utilizar. Si el producto final de la plantación es madera para aserrío se debería seleccionar un clon que presente la más alta calidad y cantidad de volumen comercial; sin embargo si se trata de biomasa como producto final la variable calidad tiene menor importancia.

Al no encontrar diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los caracteres, ni en ninguna de las dos procedencias de clones (zona sur y zona norte) evaluadas, los resultados sugieren que las condiciones de sitio están afectando el desarrollo y expresión del potencial genético del material genético evaluado. La corta edad de 2,25 años también pudo influir en los resultados, ya que podría suceder que todavía no se ha expresado claramente todo su potencial genético. Sin embargo, es importante resaltar que los clones de la zona sur, colectivamente, registraron valores más altos en general en todos los parámetros evaluados. Es decir, con excepción del DAP, en todos los demás caracteres los valores mínimos encontrados en los clones de la zona sur fueron superiores a los valores máximos registrados en los clones de la zona norte. Lo anterior podría indicar que el DAP es una variable con alto control genético, y los demás parámetros son altamente controlados por el ambiente y/o las condiciones de sitio (Indira, 2006, Corpuz, 2008 citado por Corpuz, 2011). Sin embargo, para corroborar ésta suposición se debe realizar el análisis genético respectivo para la heredabilidad de cada carácter evaluado.

El obstáculo más serio para realizar comparaciones entre poblaciones de melina es su marcada sensibilidad y especificidad al sitio (Greaves, 1981, Dvorak, 2003, Sandiford,

1990), una situación similar también ha sido reportada para muchas especies de eucalipto (Greaves, 1981). Por todo lo anterior, las comparaciones entre poblaciones se deberían realizar bajo las mismas condiciones de sitio.

En el Cuadro 4 se presenta la comparación de las medias entre ambas procedencias para cada uno de las variables dasométricas.

En resumen, el Cuadro 4 indica que en presencia de un sitio con las características de la Finca La Amapola clase II - III para producción de melina, (Murillo & Ávila, 2011), la decisión de establecer clones procedencia zona sur representaría un 97% más de volumen comercial de calidad que si se establecieran los clones de la colección proveniente de zona norte.

Los resultados obtenidos bajo las condiciones del sitio La Amapola deben ser considerados como preliminares por su pronta edad y por corresponder a un solo sitio. Para aumentar la eficiencia, la exactitud de los parámetros, la calidad de datos y su representatividad es importante realizar esfuerzos por evaluar ambas procedencias de clones en al menos uno o dos sitios adicionales, con el fin de poder distinguir el posible efecto de la interacción Genotipo x Ambiente. Lo anterior se reafirma con lo explicado por Lauridsen (2004) quien señaló que el efecto de la interacción del genotipo con las condiciones ambientales posiblemente conduciría a problemas en la evaluación por igual de todos los árboles de su forma - calidad.

El volumen comercial de calidad fue el parámetro que presentó la mayor variación fenotípica, presentándose el mismo patrón tanto en el estudio de Hodge & Dvorak (2004) como en el de Balcorta & Vargas (2004), quienes reportaron diferencias en volumen entre procedencias de 10% el primero y hasta 150% para el segundo. Un porcentaje de variación fenotípica tan alto en la clasificación de clones es importante ya que en etapas posteriores se pueden obtener ganancias importantes aun cuando, eventualmente, la heredabilidad fuese baja, desde luego bajo un adecuado control genético de las características deseables (Cornelius & Hernández, 1995, Balcorta & Vargas, 2004, Osorio, 2004, Hodge & Dvorak, 2004). Tawara (1996) reportó también una buena respuesta de la variable calidad a la selección.

Es de suma importancia llegar a determinar cuáles son los materiales genéticos superiores para cada condición de sitio, ello representa la diferencia entre el éxito o fracaso de un proyecto forestal (Byron, 2004, Osorio, 2004, Mariño, 2006). Lauridsen & Kjaer (2002) afirmaron que se debe ser más cauteloso en la escogencia de los sitios para melina, específicamente marcaron que se debe tener mucho cuidado cuando se recomiendan clones para áreas pequeñas. Se debe continuar con la investigación en éste tipo de sitios clase II-III, con clones que logren

una alta adaptabilidad y un desarrollo en volumen y calidad satisfactorio, evaluando en más sitios para reforzar las decisiones en selección tomadas. Mediante dicha identificación de clones se podría llegar a producir “razas locales” o genomas de alta expresividad a través del manejo de la base genética (Hodge & Dvorak, 2004, Mariño, 2006).

En el Cuadro 5 y Cuadro 6 se presenta el desarrollo de las mismas dos procedencias de clones pero establecidas en Finca Puntarenas (sitio clase I para producción de melina).

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Esta condición de sitio, sin problemas de drenaje, buena fertilidad natural y una textura adecuada, se clasifica como clase I para producción de melina (Murillo, 2014 comunicación personal). Como puede observarse, en este sitio sí se registraron diferencias significativas entre los materiales evaluados (Cuadro 5). Es decir, este tipo de sitios reúne las condiciones necesarias para el adecuado crecimiento del material clonal (Valerio, 1986). Para los parámetros DAP, volumen comercial y volumen comercial de calidad se identificaron 3 grupos dentro de la procedencia zona norte. En el grupo de más bajo desarrollo para los parámetros evaluados claramente se identificó el clon 10. Dentro del grupo de clones de desarrollo intermedio se identificaron los clones 16 y 4; y finalmente los clones 22 y 11 se ubicaron dentro de los de mejor desarrollo para los tres parámetros mencionados.

La evaluación de altura comercial y calidad no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($\alpha = 0,05$). En cuanto a la calidad se debería de poner especial atención a los clones 16, 11, 22 y 14 los cuales tuvieron una media por encima del 80%, la cual influyó positiva y directamente al volumen comercial de calidad obtenido para cada uno de ellos.

Sobresale el desarrollo de DAP presentado en general por todos los clones pero especialmente en el clon 11 con un IMA de 9,37 cm año⁻¹, principalmente por el hecho que estos ensayos no tuvieron un manejo intensivo y sistemático que incluyera programa de fertilizaciones, raleos y podas, la misma particularidad fue reportada por Padua (2003). El mismo clon presentó muy buen desarrollo en altura y fue de los mejores en calidad, lo que lo hace el clon más sobresaliente de ésta procedencia para este tipo de sitios.

Los clones de zona norte registraron en promedio un IMA en DAP= 8,6 cm año⁻¹, en altura comercial= 4,9 m año⁻¹ y en volumen comercial= 0,0771 m³ año⁻¹ árbol⁻¹. En todos los casos el IMA es mayor al presentado por estos mismos clones creciendo en Finca La Amapola. Tomando en cuenta los 620 árboles ha⁻¹ con los que contaba el ensayo al momento de la evaluación, el IMA en volumen comercial fue de 47,8 m³ ha⁻¹ año⁻¹.

Cuadro 5. Caracterización fenotípica a los dos años de edad de los clones procedentes de zona norte establecidos en Finca Puntarenas, cantón de Osa, pacífico sur de Costa Rica.

Cuadro 5. Phenotypic characterization for each character at two years of the clones established from North Region to Finca Puntarenas, canton Osa, Costa Rica South Pacific.

Diámetro altura pecho (cm)		Altura comercial (m)		Volumen comercial (m ³ árbol ⁻¹)		Calidad (%)		Volumen de calidad (m ³ árbol ⁻¹)	
Clon	Media	Clon	Media	Clon	Media	Clon	Media	Clon	Media
11	18,75 a	10	10,00 a	22	0,1852 a	16	86,94 a	22	0,1533 a
22	18,68 a	9	10,00 a	11	0,1700 ab	11	83,95 a	11	0,1439 ab
9	17,84 a	7	10,00 a	9	0,1603 ab	22	81,11 a	16	0,1373 ab
16	17,38 ab	5	10,00 a	16	0,1574 ab	14	80,80 a	4	0,1231 ab
4	17,19 ab	4	10,00 a	1	0,1572 ab	5	79,49 a	1	0,1211 ab
1	17,13 ab	22	10,00 a	4	0,1536 ab	4	79,00 a	14	0,1191 ab
14	17,02 ab	16	10,00 a	2	0,1509 ab	1	77,41 a	5	0,1191 ab
7	16,99 ab	11	10,00 a	14	0,1505 ab	10	77,36 a	15	0,1142 ab
15	16,82 ab	14	10,00 a	7	0,1490 ab	7	76,99 a	2	0,1138 ab
5	16,73 ab	15	9,86 a	5	0,1472 ab	15	76,44 a	7	0,1133 ab
2	16,70 ab	1	9,83 a	15	0,1457 ab	2	75,00 a	9	0,1127 ab
10	15,26 b	2	9,72 a	10	0,1244 b	9	71,60 a	10	0,0989 b
Promedio	17,21		9,95		0,1543		78,84		0,1225

Una situación similar a lo reportado por Indira (2006) se presentó con el clon 9, el cual tuvo muy buen crecimiento pero una calidad no tan aceptable. Clones con crecimientos muy buenos pero con variables de calidad no tan buenas podrían combinarse mediante cruces controlados con clones que presenten calidad muy buena pero crecimientos no tan buenos (Indira, 2006). Este procedimiento puede ser una alternativa importante para trabajar múltiples características deseables.

Las ligeras diferencias estadísticas encontradas se relacionan con el pequeño intervalo de variación de los valores para cada una de las variables, lo que daría un diferencial de selección pequeño, lo que finalmente limitaría en gran medida el obtener ganancias en los siguientes procesos, a excepción que los valores de heredabilidad de las características deseables fuesen significativamente altos (Balcorta & Vargas, 2004).

Excepto para altura comercial, el ámbito de variación de todos los parámetros evaluados fue mayor que el presentado en Finca La Amapola, esta situación se presentó ya que las condiciones de clase I del sitio le permiten a los clones expresar su potencial genético. En el Cuadro 6 se puede apreciar el desarrollo de los clones procedentes de la zona sur establecidos en Finca Puntarenas.

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Se registró un intervalo de variación más amplio sobre las variables estudiadas que el presentado por los de

zona norte en este mismo sitio. Lauridsen & Kjaer (2002) también encontraron una alta variación fenotípica para la melina, ligada a una alta heredabilidad en algunos de los caracteres evaluados. El patrón de tres grupos presentado en este sitio para los clones de zona norte, no es tan evidente para el material genético proveniente de la zona sur, excepto en el parámetro calidad donde sí se repite dicho patrón. Resultados similares obtuvo Valerio (1986) quien no identificó relaciones claras y consistentes entre el comportamiento del material evaluado con respecto a las variables de crecimiento, densidad de madera y largo de fibras. Del Cuadro 6 se resalta el desarrollo uniforme en altura comercial de los clones de zona sur, convirtiéndose en un aspecto muy valioso tanto para la programación de actividades silviculturales propias de un manejo intensivo, como para la planificación y ordenamiento de la producción forestal.

Excepto para la variable altura comercial, el clon 1 presenta diferencias estadísticamente significativas ($\alpha = 0,05$) respecto de los demás, identificándose como el de menor desarrollo tanto a nivel dasométrico como en calidad. Kumar (2007) y Padua (2003) también registraron diferencias estadísticamente significativas en la evaluación de una colección clonal de melina, en dos distintos ensayos, a los dos y seis años, respectivamente.

La colección genética proveniente de zona sur, creciendo en Finca Puntarenas, registró calidad alta. El promedio del conjunto genético fue de 87,48%, con un valor máximo de 96,74% para el clon 23. Este resultado es muy alentador para una especie cuya crítica principal es que los árboles frecuentemente presentan

Cuadro 6. Caracterización fenotípica para cada carácter a los dos años de edad de los clones procedentes de zona sur establecidos en Finca Puntarenas, cantón de Osa, pacífico sur de Costa Rica.

Table 6. Phenotypic characterization for each character at two years of the clones established from South to Finca Puntarenas, canton Osa, Costa Rica South Pacific.

Diámetro altura pecho (cm)		Altura comercial (m)		Volumen comercial (m ³ árbol ⁻¹)		Calidad (%)		Volumen de calidad (m ³ árbol ⁻¹)	
Clon	Media	Clon	Media	Clon	Media	Clon	Media	Clon	Media
17	17,91 a	12	10,00 a	17	0,1664 a	23	96,74 a	12	0,1400 a
12	17,38 ab	13	10,00 a	12	0,1590 ab	11	91,02 ab	17	0,1384 a
7	16,97 ab	18	10,00 a	18	0,1528 ab	13	90,78 ab	18	0,1367 a
18	16,96 abc	1	10,00 a	7	0,1493 ab	19	89,54 ab	13	0,1333 a
13	16,86 abc	7	10,00 a	21	0,1489 ab	7	89,21 ab	7	0,1329 a
21	16,76 abc	11	10,00 a	13	0,1470 abc	18	88,84 ab	23	0,1279 ab
23	16,12 abc	17	10,00 a	23	0,1347 abcd	21	86,88 ab	21	0,1263 ab
24	15,98 abcd	23	10,00 a	24	0,1315 abcde	12	86,69 ab	24	0,1115 abc
11	15,28 bcde	24	10,00 a	19	0,1220 bcde	24	86,41 ab	19	0,1108 abc
19	15,24 bcde	21	10,00 a	11	0,1196 bcde	17	82,13 b	11	0,1068 abc
20	14,41 cde	19	9,92 a	20	0,1067 cde	1	81,67 b	20	0,0833 c
1	13,55 de	20	9,78 ab	1	0,0950 de	20	80,12 b	1	0,0750 c
Promedio	16,11		9,93		0,1360		87,48		0,1185

características de fuste indeseables, ramas gruesas, o defectos como bifurcaciones y torceduras a cualquier altura (Osorio, 2004). Debido a lo anterior, Lauridsen & Kjaer (2002) apuntan que se debe ser más cauteloso en la escogencia de los sitios para melina, en especial cuando se recomiendan clones para áreas pequeñas. Un aspecto a resaltar es que los clones 11 y 16 de zona norte estuvieron en los primeros lugares de la clasificación en cuanto a calidad en ambos sitios.

Los clones de zona sur presentaron en promedio los siguientes IMA en DAP = 8,0 cm año⁻¹, altura comercial= 4,96 m año⁻¹ y volumen comercial= 0,0680 m³ año⁻¹. El IMA de todas las variables evaluadas en estos clones en Finca Puntarenas es mayor que el IMA de esas mismas variables evaluadas en Finca La Amapola. Los 572 árboles ha⁻¹ con los que contaba el ensayo al momento de la evaluación registraron un IMA en volumen comercial de 38,8 m³ ha⁻¹ año⁻¹. En la escala de Vallejos (1996), que caracteriza la producción de melina, este IMA estaría clasificado como excelente y se ubicaría en la curva superior al valor máximo reportado por dicho autor (> 37,78 m³ ha⁻¹ año⁻¹) para el volumen total.

A excepción de los resultados obtenidos para los clones zona norte en Finca La Amapola, todos los demás IMA en volumen comercial registrados son superiores a los valores máximos de 37,1 m³ ha⁻¹ año⁻¹ en volumen total con corteza reportados por Byron (2004). El valor máximo, encontrado en la revisión bibliográfica, reportado tanto por Zeaser (1998) como por Dvorak (2003) fue de 50 m³ ha⁻¹ año⁻¹ en volumen total, ligeramente superior al registrado en la presente investigación por el conjunto genético procedente de zona norte que se desarrolla en Finca Puntarenas.

En el Cuadro 7 se presenta la comparación de las medias entre ambas procedencias para cada uno de los parámetros evaluados en Finca Puntarenas.

El material genético procedente de zona norte registró valores mayores en los parámetros de DAP, volumen comercial y volumen comercial de calidad. Por su parte los clones de zona sur registraron resultados más deseables en el parámetro de calidad. Sin embargo, en ninguno de los anteriores casos se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($\alpha = 0,05$). Lo anterior sugiere que, para este tipo de sitios, los clones que proceden de la zona sur deberían utilizarse si el objetivo de la plantación es producir madera de calidad superior, es decir para productos de alto valor agregado; sin embargo, si el objetivo final está ligado a mayor producción de biomasa se recomendaría trabajar con la colección de clones procedencia zona norte.

Se podría inferir que los clones procedentes de zona norte fueron seleccionados mayoritariamente por su desarrollo en volumen y en menor grado evaluando su calidad; contraponiéndose a lo recomendado por Valerio (1986), de incluir desde las primeras etapas del programa de mejoramiento genético tanto las variables de crecimiento como de forma. Además, los clones procedentes de zona sur fueron seleccionados según su desarrollo en volumen, así como un componente fuerte de selección por calidad. Las ganancias fenotípicas generadas en la calidad de los árboles de éste conjunto genético son gracias a esa selección estricta realizada en la escogencia (Cornelius & Hernández 1995).

Cuadro 7. Comparación valores medios de los caracteres evaluados para ambas procedencias establecidas en Finca Puntarenas, cantón de Osa, pacífico sur de Costa Rica.

Table 7. Comparison of medium values of evaluated characters for both origins established in Puntarenas, canton Osa, Costa Rica South Pacific.

Parámetro	Zona Norte		Zona Sur		RelaciónZS vs ZN
	Media	D.E.	Media	D.E.	
Diámetro altura pecho (cm)	17,20	2,71	16,11	2,65	-6%
Altura comercial (m)	9,95	0,49	9,93	0,29	0%
Volumen comercial (m ³ árbol ⁻¹)	0,1543	0,0481	0,1360	0,0453	-13%
Calidad (%)	78,84	19,96	87,48	13,79	11%
Volumen de calidad (m ³ árbol ⁻¹)	0,1225	0,0501	0,1185	0,0424	-3%

Conclusiones

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($\alpha = 0,05$) en los clones de ambas procedencias para ninguna de las variables evaluadas en Finca La Amapola. Sin embargo, se presentaron resultados en calidad y volumen comercial de calidad que hacen pensar que las condiciones propias del sitio no le permitieron a los clones de ambas procedencias expresar su potencial genético.

En todos los parámetros evaluados, los IMA registrados para los clones de zona sur son mayores a los registrados para los clones procedentes de zona norte en Finca La Amapola. Establecer clones de procedencia de la zona sur representaría un 97% más de volumen comercial de calidad que si se establecieran los clones de la colección proveniente de zona norte. Se reafirma la importancia de determinar cuáles son los materiales genéticos superiores para cada condición de sitio, especialmente cuando se recomiendan clones para áreas pequeñas.

La superioridad de los clones no es igual para todos los parámetros evaluados, los mismos expresan mejores valores en unos parámetros que en otros, por lo que la selección del material a plantar dependerá del objetivo final de la materia prima a producir.

Las condiciones propias del sitio La Amapola, “confunden” los resultados obtenidos para ambas colecciones genéticas, por lo que no permiten ser eficientes y precisos en la posible recomendación de clones para este tipo de sitios.

El volumen comercial de calidad fue el parámetro dasométrico que registró la mayor variación fenotípica. En etapas posteriores se podrían obtener altas ganancias aun cuando, eventualmente, la heredabilidad fuese baja, desde luego si existiese un adecuado control genético de las características deseables.

Las condiciones de sitio de Finca Puntarenas, clasificado como clase I para producción de melina, sí permitieron que los conjuntos genéticos expresaran su verdadero potencial, para poder discriminar entre ellos y continuar

con los procesos de selección. Se identificó el clon 10 como el de menor desarrollo y los clones 22 y 11 como los de mejor desarrollo para los parámetros evaluados en la procedencia zona norte.

Los clones procedentes de zona sur que crecen en Finca Puntarenas registraron una calidad muy alta, con una media de 87,48% y un máximo de 96,74% para el clon 23. Valores tan altos de calidad son de suma relevancia para una especie cuya crítica principal es que los árboles frecuentemente tienen características de fuste indeseables, con defectos como bifurcaciones o torceduras a cualquier altura.

Los clones 11 y 16 de zona norte se posicionaron en los primeros lugares en cuanto a calidad en ambos sitios.

El conjunto genético procedente de zona norte que crece en Finca Puntarenas, registró un IMA en volumen comercial ligeramente inferior al valor máximo encontrados en la revisión bibliográfica que fue reportado tanto por Zeaser (1998) como por Dvorak (2003) de 50 m³ ha⁻¹ año⁻¹ en volumen total.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Proyecto *Mejoramiento de la capacidad productiva de pequeños y medianos productores de la zona sur* del Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional (INISEFOR-UNA) por su gran apoyo en la logística de la presente investigación y a la Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica (GENFORES-TEC) por haber facilitado, a través de su socio CoopeAgri, el material genético de ambas colecciones de clones para la respectiva evaluación.

Referencias

- Balcorta, H. y Vargas, J. (2004). Variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de melina (*Gmelina arborea* Linn., Roxb.) de tres años de edad. *Revista Chapingo*, 10(1), pp. 13-19.
- Byron, J. (2004). Growth potential of *Gmelina arborea* at 3 years of age in Colombia. *New Forest*, (28), pp. 269-276.
- Corella, O. (2009). *Valoración de la base forestal de las plantaciones forestales y su contribución al abastecimiento de madera en la zona del Atlántico Norte de Costa Rica*. (Tesis inédita de maestría). CATIE, Turrialba, CR.
- Cornelius, J. (1994). The effectiveness of plus-tree selection for yield. *Forest Ecology and Management*, (67), pp. 23-34.
- Cornelius, J. y Hernández, M. (1995). Variación genética en crecimiento y rectitud del fuste en *Gmelina arborea* en Costa Rica. *Boletín mejoramiento genética y semillas forestales*. CATIE. (10), pp. 9.
- Corpuz, O. (2011). Growth and heritability of three year old *Gmelina* plantation. *National Research and Development Conference*, pp. 13.
- De Kok, R. (2012). A revision of the genus *Gmelina* (Lamiaceae). *Kew Bulletin*, (67), pp. 293-329.
- Dvorak, W. (2004). World view of *Gmelina arborea*: opportunities and challenges. *New Forest*, (28), pp. 111-126.
- Dvorak, W. (2003). World view of *Gmelina arborea*: opportunities and challenges. In: Dvorak W.S., Hodge G.R., Woodbridge W.C. and Romero J.L. Recent Advances with *Gmelina arborea*. CD-ROM. CAMCORE, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA.
- Espinoza, J. (2004). Site selection, site preparation, and weed control for *Gmelina arborea* in western Venezuela. *New Forest*, (28), pp. 217-226.
- FONAFIFO. (2010). Estadísticas de PSA obtenidas desde 1998-2008. San José, Costa Rica.
- Franzel, S., Jaenicke, H. & Janssen, W. (1996). Choosing the right trees: setting priorities for multipurpose tree improvement. *ISNAR. Research report*, (8), pp. 9.
- Greaves, A. (1981). *Gmelina arborea*: Annotated bibliography. Oxford.
- Herasme-Montas, R. (1997). *Correlaciones juvenil – maduro en Gmelina arborea Roxb.* (Tesis inédita de maestría). CATIE. Turrialba, CR.
- Hodge, G. & Dvorak, W. (2004). The CAMCORE international provenance / progeny trials of *Gmelina arborea*: genetic parameters and potential gain. *New Forest*, (28), pp. 147-166.
- Indira, E. (2006). Provenance variations in *Gmelina arborea* with particular reference to tree form. *Journal of Tropical Forest Science*, 18(1), pp.36-50.
- Kumar, A. (2007). Growth performance and variability in different clones of *Gmelina arborea* (Roxb.). *Silvae Genetica*, (56), pp. 32-36.
- Lauridsen, E. (2004). Features of some provenances in an international provenance experiment of *Gmelina arborea*. *New Forest*, (28), pp. 127-145.
- Lauridsen, E. & Kjaer, E. (2002). Provenance research in *Gmelina arborea* Linn., Roxb.: a summary of results from three decades of research and a discussion of how to use them. *International Forestry Review*, 4(1), pp. 15.
- Lokmal, N. (1994). Genetic parameters of *Gmelina arborea*: height and diameter growth. *Journal of Tropical Forest Science*, 7(2), pp. 323-331.
- Mariño, Y. (2006). Evaluación del punto de marchites permanente bajo condiciones de invernadero como variable para la asignación de clones de *Gmelina Arborea* (Roxb) a sitios potenciales de plantación. Trabajo final bachillerato. Pontificia Universidad Javeriana, pp. 172.
- Murillo, O. (2011). Estrategia de mejoramiento genético para la cooperativa GENFORE. Ponencia magistral. En: XII Congreso Nacional Colombiano de Mejoramiento Genético de Cultivos. Montería, Córdoba, Colombia.
- Murillo, O. y Badilla, Y. (2010). Calidad de la plantación forestal. Cartago, Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal-ITCR, pp. 75. (Información sin publicar).
- Murillo, O. y Valerio, J. (1991). Melina (*Gmelina arborea*) especie de árbol de uso múltiple en América Central. *Colección de Guías Silviculturales*. CATIE, pp. 69.
- Murillo, R. (1996). Evaluación de algunos factores ambientales que afectan la calidad de sitio a nivel de micrositio para melina (*Gmelina arborea* Robx) plantada en suelos planos en la zona Sur de Costa Rica. (Tesis inédita de licenciatura). UNA, Heredia, CR, pp. 111.
- Murillo, R. y Ávila, C. (2011). Informe final del proyecto Mejoramiento de la capacidad productiva de pequeños y medianos reforestadores de la Zona Sur. Heredia, Costa Rica, *INISEFOR-UNA-CONARE*, pp. 218.
- Obregón, C. (2006). *Gmelina arborea*: Versatilidad, renovación y productividad sostenible para el futuro. *Revista el mueble y la madera (M y M)*, (50), pp. 14-20.
- ONF. (2010). Uso y aportes de la Madera en Costa Rica: Estadísticas 2010. San José, Costa Rica, pp. 26.
- Osorio, L. (2004). Provenance results of *Gmelina arborea* in southwest Colombia at three years of age. *New Forest*. (28), pp. 179-185.
- Padua, F. (2003). Clonal correlation in growth and stem quality of *Gmelina arborea*. Ponencia magistral. En: XII World Forestry Congress. Québec City, Canada. 21 - 28 de setiembre, 2013. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/0022-B4.HTM>.
- Padua, F. (2004). Juvenile selection of *Gmelina arborea* clones in the Philippines. *New Forest*, (28), pp. 195-200.
- Rojas, F., Arias, D., Moya, R., Meza, A., Murillo, O. y Arguedas, M. (2004). Manual para productores de melina (*Gmelina arborea*) en Costa Rica: Botánica y ecología, pp. 83.
- Rojas, F. y Murillo, O. (2004). Botánica y ecología. In Manual para productores de melina (*Gmelina arborea*) en Costa Rica, pp. 3-21.
- Sánchez, L. & Romero, J. (2004). Plantations of *Gmelina arborea* in southern Mexico. *New Forest*, (28), pp. 293-297.
- Sandiford, M. (1990). A description of the tree improvement programme for Solomon Islands with special reference to *Gmelina arborea*. *Commonwealth Forestry Review*, 69(2), pp. 173-179.

- Tawara, C. (1996). Variación clonal de melina (*G. arborea* Roxb) en Costa Rica. (Tesis inédita de maestría). CATIE Turrialba, Costa Rica, pp. 99.
- Valerio, J. (1986). *Evaluación de nueve procedencias de Gmelina arborea (Roxb.) en Turrialba, Costa Rica.* (Tesis inédita de maestría). CATIE, Turrialba, CR, pp. 107.
- Vallejos, O. (1996). *Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para Tectona grandis, Bombacopsis quinatum y Gmelina arborea en Costa Rica.* (Tesis inédita de maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica, pp. 142 p.
- Wee, A., Li, C. & Dvorak, W. (2012). Genetic diversity in natural populations of *Gmelina arborea*: implications for breeding and conservation. *New Forests*, (43), pp. 411-428.
- Zeaser, D. (1998). El Programa de Mejoramiento de Ston Forestal. En: *Seminario Aumento de la rentabilidad de las plantaciones forestales: Un reto ligado al uso de semilla de alta calidad.* San José, CR.