



Revista de CIENCIAS AMBIENTALES

Tropical Journal of Environmental Sciences



Selección de clones superiores de dos conjuntos genéticos de *Gmelina arborea* en el
Pacífico Sur de Costa Rica

Selection of Superior Clones of Two Genetic Groups of *Gmelina arborea* in
the Costa Rican Southern Pacific Region

Carlos Ávila-Arias^a, Rafael Murillo-Cruz^b, Olman Murillo-Gamboa^c

- ^a Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción; investigador y académico, Instituto de Investigación y Servicios Forestales – Universidad Nacional de Costa Rica (UNA); carlosenriquea79@gmail.com
- ^b Máster en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Suelos; investigador y académico, Instituto de Investigación y Servicios Forestales (UNA); murillorafael5454@yahoo.com
- ^c Doctor Especialista en Genética; investigador y académico, Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal (GENFORES) - Instituto Tecnológico de Costa Rica; olmuga@yahoo.es

Director y Editor:

Dr. Sergio A. Molina-Murillo

Consejo Editorial:

Dra. Mónica Araya-Salas, Costa Rica Limpia, Costa Rica
Dr. Gerardo Ávalos-Rodríguez. SFS y UCR, USA y Costa Rica
Dr. Manuel Guariguata. CIFOR-Perú
Dr. Luko Hilge-Quirós, CATIE, Costa Rica
Dr. Arturo Sánchez Azofeifa. Universidad de Alberta-Canadá

Asistente:

Rebeca Bolaños-Cerdas

Editorial:

Editorial de la Universidad Nacional de Costa Rica (EUNA)





Selección de clones superiores de dos conjuntos genéticos de *Gmelina arborea* en el Pacífico Sur de Costa Rica

Selection of Superior Clones of Two Genetic Groups of *Gmelina arborea* in the Costa Rican Southern Pacific Region

Carlos Ávila-Arias^a, Rafael Murillo-Cruz^b, Olman Murillo-Gamboa^c

[Recibido: 23 de agosto 2015; Aceptado: 19 de noviembre 2015; Corregido: 1 diciembre 2016; Publicado: 29 de febrero 2016]

Resumen

Gmelina arborea se ha convertido en una opción muy significativa para garantizar el abastecimiento de materia prima para la industria forestal, principalmente por su rápida tasa de crecimiento, fácil establecimiento, alta productividad, amplio rango de tolerancia a condiciones de sitio y excelente capacidad de rebrote. La presente investigación tuvo como objetivo seleccionar los clones que registraron un desempeño superior para un sitio clase I y otro clase III para producción de melina (finca Puntarenas y finca La Amapola, respectivamente), provenientes de dos conjuntos genéticos (zona norte y zona sur). La selección se basó en las variables: volumen comercial, calidad y volumen comercial de calidad, mediante la determinación del porcentaje de ganancia o pérdida en el desempeño de cada clon comparado con la media poblacional. Para sitios clase I se seleccionaron los clones 11 y 22 de zona norte y 17 y 12 de zona sur para continuar con el mejoramiento genético; además de los anteriores, el clon 16 de zona norte y 16, 13, 7, 23 y 21 de zona sur, para proyectos de reforestación comercial. Para sitios clase III se identificó el clon 5 de zona norte para continuar en un programa de mejoramiento genético; además los clones 5, 16 y 1 de zona norte y 17, 20, 19 y 21 de zona sur para proyectos de reforestación comercial. Los restantes clones de ambas procedencias deberían eliminarse del proceso productivo y guardarse en bancos de germoplasma para objetivos futuros.

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

Abstract

Gmelina arborea has become a very significant choice to guarantee the supply of raw material for the forest industry, mainly by its rapid rate of growth, high productivity, easy settlement, wide range of tolerance to conditions of site and excellent capacity of regrowth. This research was aimed to select clones that recorded superior performance on melina production for a site class I and other class III (Finca Puntarenas and Finca La Amapola, respectively), from two genetic groups (Northern area and Southern area). The selection criterion was based on the following variables: trade volume, quality and trade volume of quality, through the determination of profit or loss percentage rate on the performance of each clone compared to the population mean. For sites class I clones 11 and 22 of the Northern area and 17 and 12 from Southern area were selected to continue with breeding programs; in addition to the previous, clone 16 in the Northern area and 16, 13, 7, 23 and 21 in Southern area were selected for commercial reforestation projects. For sites class III clone 5 from the Northern area was identified to continue in the breeding programs; also clones 5, 16 and from Northern area and 17, 20, 19 and 21 of Southern area were identified for commercial reforestation projects. The remaining clones of both backgrounds should be removed from the production process and stored in germplasm banks for future objectives.

Keywords: *Gmelina arborea*, clones selection, trade-quality volume.

^a Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción; investigador y académico, Instituto de Investigación y Servicios Forestales – Universidad Nacional de Costa Rica (UNA); carlosenriquea79@gmail.com

^b Máster en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Suelos; investigador y académico, Instituto de Investigación y Servicios Forestales (UNA); murillorafael5454@yahoo.com

^c Doctor Especialista en Genética; investigador y académico, Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal (GENFORES) - Instituto Tecnológico de Costa Rica; olmuga@yahoo.es



1. Introducción

Gmelina arborea es la segunda especie forestal maderable más plantada en Costa Rica, superada solamente por la teca, con un total de 18235,1 ha en bloques de plantación y 126470 árboles dispersos (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2015). Su importancia radica, principalmente, en su rápida tasa de crecimiento, fácil establecimiento, alta productividad, amplio rango de tolerancia a condiciones de sitio y excelente capacidad de rebrote (Ogar, Otu y Mgbang, 2014; Rojas, Arias, Moya, Meza, Murillo y Arguedas, 2004).

Hoy en día se ha convertido en una opción muy significativa para garantizar el abastecimiento de materia prima para la industria forestal, no solo en Costa Rica sino también en muchas áreas tropicales de todo el mundo (Balcorta y Vargas, 2004; Kumar, 2007; Obregón, 2006; Padua, 2003), gracias a la gran variedad de usos para su madera (Indira, 2006), así como para ofrecer a los productores e inversionistas un rápido retorno de su inversión (Wee, Li y Dvorak, 2012).

En Costa Rica, los mejores sitios para su establecimiento se ubican en las partes bajas de los terrenos hasta los 600 msnm, donde generalmente tienen mayor disponibilidad de agua y nutrimentos, sitios con buenos contenidos de calcio y magnesio y áreas donde el uso anterior era charral o cultivos agrícolas (Rojas, Arias, Moya, Meza, Murillo y Arguedas, 2004). Murillo y Valerio (1991) apuntan que requiere suelos profundos, bien drenados, textura franca a franco arcillosa y una topografía plana a ondulada. Por su parte, Zeaser y Murillo (1995) identificaron una serie de características edafoclimáticas mediante las cuales establecieron clases de sitios para la producción de melina en el Pacífico Sur de Costa Rica (I, II, III, IV y V); estas mismas son la base para definir el potencial de un sitio para el establecimiento de sistemas de producción forestal con dicha especie.

Por otra parte, en Costa Rica el consumo de madera de melina en rollo ha registrado un crecimiento acelerado en la última década (Barrantes, Paniagua y Salazar, 2011); dicho aumento, aunado a la sostenida disminución en la tasa de establecimiento de plantaciones en el mismo lapso, ha puesto al país frente a una crisis en el suministro de materia prima proveniente de fuentes renovables (Corella, 2009). Murillo y Ávila (2011), en aras de aportar insumos para una ordenación de la posible producción forestal, determinaron las áreas con potencial para el establecimiento de plantaciones de *Gmelina arborea* para los cantones de Osa, Corredores y Golfito. Indicaron que los mejores crecimientos se dan, mayormente, en las áreas cerca de Palmar Norte (Osa), en algunas zonas planas cerca de Puerto Jiménez (Golfito) y en la Cuesta de Paso Canoas (Corredores). Los mismos autores registraron que en el 39,8% del área efectiva de estudio se obtendría una producción de más de $15 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ de volumen comercial con corteza; mientras en el restante 60,2% del área la producción sería menor de $15 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, al ser los suelos volcánicos del cantón de Corredores y áreas de suelos inceptisoles poco fértiles en las planicies de la Península de Osa (Cuadro 1) (Murillo y Ávila, 2011); las estimaciones anteriores se basaron en materiales genéticos no identificados ni comprobados como superiores.

No obstante, para poder implementar las recomendaciones realizadas por distintos autores, en aras de subsanar cuanto antes la crisis de producción de materia prima para la industria forestal del país, quedan muchas preguntas básicas sin respuesta para lograr una verdadera ordenación de la producción forestal, como por ejemplo: ¿Cuál material genético se debería plantar en cada una de las áreas potenciales para producción de melina?

**Cuadro 1.** Desarrollo de plantaciones de *Gmelina arborea* en los cantones de Osa, Golfito y Corredores.

IMA Volumen comercial (m ³ *ha ⁻¹ *año ⁻¹)	Área (ha)	Porcentaje (%)
mayor a 15	38 572,1	39,8
entre 7 y 15	57 883,7	59,7
menor a 7	457,9	0,5
Total	96 913,7	100

Fuente: Murillo y Ávila (2011).

La falta de información sobre el desempeño de conjuntos genéticos de la especie, identificados como superiores, según el sitio, dificulta la planificación y ordenamiento forestal dirigido hacia un manejo intensivo de la melina, con el fin de maximizar la producción por unidad de superficie, tanto en cantidad como en calidad. Es necesario evaluar tanto el crecimiento como la calidad de los materiales genéticos de melina que, en este momento, se establecen en el campo con fines comerciales.

Al respecto, la variabilidad genética de la melina, y con ella su potencial de ganancia genotípica, apunta a incrementos en productividad producto de este tipo de investigaciones. Kumar (2007) y Corpuz (2011) concluyeron que la aplicación de la silvicultura clonal en *Gmelina arborea* podría aumentar inmensamente la productividad y contribuir, de manera sustancial, en la reducción de la brecha entre la oferta y la demanda. 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, tanto Cornelius (1994) como Franzel, Jaenicke y Janssen (1996) concluyeron que la selección de árboles con características superiores podría ser ineficaz, si no se lleva a cabo correctamente, con ganancias cercanas a cero. Padua (2004) evaluó 11 clones de melina a edad temprana y registró una ganancia de 50% de volumen por hectárea al comparar el clon superior con respecto a la media de todo el material evaluado; y cuando se comparó ese mismo clon con el de menor crecimiento del conjunto genético, registró 130% más de volumen. El mismo autor concluye que aproximadamente el 30% de los clones evaluados puede ser considerado como de altísimo potencial para el desarrollo de operaciones en el campo a gran escala (Padua, 2004).

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 a toda escala; sin embargo, se debe seguir investigando con base en materiales juveniles para lograr extrapolar dicha información a materiales maduros (Herasme, 1997; Hodge y Dvorak, 2004; Padua, 2004). Fundamentado en lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue seleccionar, de dos conjuntos genéticos, los clones que registraran el mejor desempeño a temprana edad en cuanto al volumen comercial de calidad para cada una de las dos condiciones de sitio evaluadas, con la finalidad de recomendar su multiplicación para ser utilizados, tanto para continuar con posibles programas de mejoramiento genético, como en proyectos de reforestación comercial.



2. Materiales y métodos

2.1. Descripción de los sitios

La presente investigación se desarrolló en dos ensayos clonales establecidos por investigadores del Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional (INISEFOR-UNA), con la especie *Gmelina arborea*. En cada uno de los sitios se realizó una preparación del terreno para homogeneizar las condiciones y así evitar influencias en el desarrollo de los conjuntos clonales evaluados; lo anterior se efectúa con el propósito de dejar como única fuente de variación la interacción de los genotipos establecidos con el sitio. Ambos ensayos fueron evaluados a los 24 meses de haberse instalado. Los sitios donde se establecieron los ensayos fueron los siguientes:

2.1.1. 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". La topografía es casi plana con una pendiente de no más de 2%. Los suelos son inceptisoles de origen aluvial debido a la influencia del río Sesenta; no presenta problemas de fertilidad ni de encharcamiento producto de inundaciones por eventos excesivos de lluvia y tiene más de 1 metro de profundidad efectiva. El sitio cumple con los requerimientos para un óptimo desarrollo de la especie (Espinoza, 2004; Murillo 1996; Murillo y Ávila, 2011; Murillo y Valerio 1991; Rojas et al., 2004), por lo que es catalogado como sitio clase I para la producción de melina (Figura 1).



Figura 1. Vista del ensayo clonal con *Gmelina arborea* establecido en el sitio finca Puntarenas.



2.1.2. Finca La Amapola

Ubicada en el cantón de Golfito, 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 msnm. 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 del ensayo presentaba un horizonte A con problemas de compactación hasta los 30 cm de profundidad (pie de arado), drenaje desde lento hasta muy lento, lo que provocaba problemas de encharcamiento, por lo cual fue 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 (**Figura 2**).

Como parte de la preparación del sitio, para el establecimiento de este ensayo, el terreno fue rastreado y se le hicieron unos camellones muy artesanales, ambas prácticas para drenar agua encharcada del sitio, aumentar la profundidad efectiva para el desarrollo de las raíces del árbol y, finalmente, mejorar en el mediano plazo la estructura del suelo y la aireación subterránea. Debido a esta preparación previa del suelo, el sitio se podría clasificar como de clase II-III para la producción de *Gmelina arborea*.



Figura 2. Vista del ensayo clonal con *Gmelina arborea* establecido en el sitio finca La Amapola.

2.2. Descripción de los ensayos

Los ensayos clonales fueron instalados como parte del Proyecto *Mejoramiento de la capacidad productiva de pequeños y medianos reforestadores de la zona sur del INSEFOR-UNA*. En ambos sitios seleccionados se instaló material genético de dos conjuntos clonales: zona norte y zona sur; facilitado por la Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal (GENFORES) y reproducido vegetativamente por CoopeAgri R. L.

Cada uno de los dos conjuntos clonales fue establecido por separado en los sitios experimentales, es decir, se obtuvieron dos ensayos individuales para cada conjunto clonal, con un diseño de bloques completos al azar. Cada ensayo cuenta con seis bloques completos al azar; dentro de cada bloque se incluyeron seis árboles de cada uno de los doce clones, los cuales



fueron plantados en 3 pares de árboles distribuidos al azar dentro de cada bloque (Murillo, 2011). Los ensayos en ambos sitios fueron instalados con un distanciamiento de 3,5 m tanto entre líneas como entre árboles.

En resumen, cada ensayo consta de seis bloques completos al azar, con doce clones y treinta y seis árboles por clon, por lo tanto, en cada sitio se evaluaron 864 árboles (sumados ambos conjuntos genéticos). Los ensayos en ambos sitios fueron instalados con un distanciamiento entre líneas y árboles de 3,5 m x 3,5m.

2.3. Variables de la investigación

2.3.1. Variables independientes

Sitio: la expresión de las variables dependientes puede estar condicionada y directamente afectada por la interacción con el sitio e inclusive con el micro-sitio (Murillo, 1996); la preparación inicial del terreno fue igual para ambos conjuntos clonales en cada sitio. Se realizó un bloqueo tanto en finca La Amapola como en finca Puntarenas, con el fin de identificar las condiciones ambientales de micro-sitio que pudieran afectar el desempeño de los árboles, tanto en crecimiento como en calidad y, de esa manera, minimizar la variabilidad del sitio dentro de cada bloque.

Conjunto clonal: se evaluaron dos conjuntos clonales procedentes uno de la zona norte y otro de la zona sur. Sobre cada uno se seleccionaron los clones superiores, según su desempeño en cada sitio.

Clones: pertenecen a la base genética que comparten los miembros de GENFORES del Tecnológico de Costa Rica y, sobre ellos se hicieron todas las evaluaciones.

2.3.2. Variables dependientes

El volumen comercial con corteza se estimó mediante la ecuación:

$$\text{Vol}_{\text{COM}} = (\text{DAP}/100)^2 * 0,7854 * h_{\text{COM}} * 0,65 \quad (1)$$

Donde:

DAP: Diámetro altura de pecho, medido a 1,3 m en cada árbol con cinta diamétrica

H_{COM}: altura comercial estimada a partir de la cantidad de trozas comerciales posibles de 2,5 m de largo en cada árbol.

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). 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:

$$\text{Calidad}_{\text{Base 100}} = 100 * \{1 - [(calidad - 1)/3]\} \quad (2)$$



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 reportó 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. En la variable volumen comercial de calidad se centró la discusión de resultados y la selección de los clones de cada conjunto genético para cada sitio.

2.4. Análisis de la información

Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software SAS (2012) versión 9,2. Para cada conjunto clonal se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para datos no balanceados sobre las variables dependientes descritas anteriormente; se usó como variable de clasificación el clon. Posteriormente se aplicó la prueba de medias de Tuckey ($\alpha= 0,05$) como comparador múltiple, que permitió identificar las diferencias significativas entre los clones de cada procedencia por separado y para cada uno de los sitios experimentales. Además, se determinó el porcentaje de ganancia o pérdida en el desempeño de cada clon comparado con la media poblacional, para las variables estudiadas.

Se ordenaron los clones de cada conjunto genético y para cada sitio por separado, ubicándolos en orden descendente, según su desempeño sobre las variables volumen comercial, calidad y volumen comercial de calidad, con el objetivo de determinar la existencia de variaciones en el desarrollo de dichas variables, de acuerdo con los sitios evaluados.

Finalmente, para determinar los clones superiores en cada sitio de cada conjunto genético se establecieron dos niveles de selección: 1) Aquellos que superaron en al menos un 15% la media para las variables evaluadas fueron los recomendados para continuar en el proceso de mejoramiento genético, así como en posibles cruces para la obtención de individuos mejorados. 2) Los clones que registraron superior a 10% sobre la media poblacional se identificaron como los candidatos para continuar con su reproducción comercial y su utilización en sistemas productivos o proyectos de reforestación comercial. El material clonal evaluado y que no cumplió con alguno de los dos niveles de selección debe sacarse de multiplicación comercial y continuar formando parte de bancos genéticos para otros propósitos a futuro.

3. Resultados y discusión

En los cuadros 2 y 3 se presenta el porcentaje de ganancia fenotípica, sobre y bajo la media poblacional, según sea el caso, registrada para cada uno de los clones procedentes de zona norte y zona sur, respectivamente, basado en su desempeño en cuanto al volumen comercial, calidad y volumen comercial de calidad; ambas procedencias se desarrollan en un sitio clase I para la producción de melina. A partir de la evaluación de dichas variables, se identificaron los genotipos que deberían seguir reproduciéndose, tanto con fines de reforestación comercial como para continuar el programa de mejoramiento genético.



Cuadro 2. Ganancia fenotípica en volumen comercial, calidad y volumen comercial de calidad para los clones zona norte establecidos en sitio clase I para melina - finca Puntarenas.

Volumen comercial (m ³ *árbol ⁻¹)			Calidad (%)			Volumen comercial de calidad (m ³ *árbol ⁻¹)		
Clon	Media	Ganancia (%)	Clon	Media	Ganancia (%)	Clon	Media	Ganancia (%)
11	0,1873 a	21	16	85,0 a	8	22	0,1533 a	25
22	0,1852 a	15	11	83,8 a	7	11	0,1439 ab	17
9	0,1690 ab	9	22	80,5 a	3	16	0,1373 ab	12
4	0,1681 ab	2	14	80,0 a	2	4	0,1231 ab	0
1	0,1665 ab	2	5	79,8 a	2	1	0,1211 ab	-1
16	0,1611 ab	2	4	78,4 a	0	14	0,1191 ab	-3
7	0,1574 ab	-4	1	77,4 a	-1	5	0,1191 ab	-3
14	0,1572 ab	-4	10	77,2 a	-2	15	0,1142 ab	-7
15	0,1536 ab	-4	7	76,8 a	-2	2	0,1138 ab	-7
5	0,1509 ab	-4	15	76,2 a	-3	7	0,1133 ab	-8
2	0,1472 ab	-11	2	74,4 a	-5	9	0,1127 ab	-8
10	0,1244 b	-23	9	71,6 a	-9	10	0,0989 b	-19
Promedio	0,1543			78,8			0,1225	

De acuerdo con los criterios establecidos para realizar la selección, se identifican únicamente los clones 22 y 11, de la colección genética procedente de zona norte, como los candidatos a permanecer en el programa de mejoramiento para este tipo de sitios clase I. De la misma manera, los genotipos seleccionados para continuar reproduciéndose con fines de reforestación comercial para sitios clase I para producción de melina son 22, 11 y 16.

Los clones 22, 11 y 16 fueron los únicos que registraron ganancia sobre la media poblacional en cuanto al volumen comercial de calidad; al establecer estos clones se podrían lograr ganancias en volumen comercial de calidad de hasta 25% sobre el promedio de toda la procedencia. Por el contrario, si se utilizaran en sitios clase I algunos de los restantes 9 clones de esta colección genética procedente de zona norte, se obtendrían pérdidas, en cuanto a volumen comercial de calidad, de hasta 19%, como es el caso del clon 10. Por tanto, dichos clones deberían descartarse para reforestación comercial (Raudales, 2009) y conservarse en bancos de germoplasma para objetivos futuros (Lauridsen, 2004). Situación similar reportó Padua (2004), quien seleccionó dos clones de un conjunto genético de 11 en total; sin embargo, adicionalmente recomendó tomar en cuenta un tercero por presentar valores muy cercanos a los dos seleccionados. Los dos clones seleccionados por Padua (2004) representaron un 18% del total del conjunto clonal evaluado por él mismo hasta los seis años (Padua, 2003), por su parte, para la presente investigación, los tres genotipos identificados representan un 16,6% del total del conjunto genético procedente de la zona norte, lo que resulta muy similar al porcentaje de selección del anterior autor.



Cuadro 3. Ganancia fenotípica en volumen comercial, calidad y volumen comercial de calidad para los clones zona sur establecidos en sitio clase I para melina - finca Puntarenas.

Volumen comercial (m ³ *árbol ⁻¹)			Calidad (%)			Volumen comercial de calidad (m ³ *árbol ⁻¹)					
Clon	Media	Ganancia (%)	Clon	Media	Ganancia (%)	Clon	Media	Ganancia (%)			
17	0,1664	a	24	23	96,7	a	11	12	0,1400	a	18
12	0,1590	ab	17	11	91,0	ab	4	17	0,1384	a	17
7	0,1526	ab	10	13	90,7	ab	4	16	0,1367	a	11
16	0,1493	ab	10	19	89,5	ab	2	13	0,1333	a	11
21	0,1489	ab	10	7	89,2	ab	2	7	0,1329	a	11
13	0,1470	abc	10	16	88,8	ab	2	23	0,1279	ab	11
23	0,1347	abcd	-5	21	86,8	ab	-1	21	0,1263	ab	11
24	0,1315	abcde	-5	12	86,7	ab	-1	24	0,1115	abc	-6
19	0,1220	bcde	-12	24	86,4	ab	-1	19	0,1108	abc	-6
11	0,1196	bcde	-12	17	82,1	b	-6	11	0,1068	abc	-6
20	0,1067	cde	-20	1	81,7	b	-7	20	0,0833	c	-32
1	0,0950	de	-27	20	79,8	b	-9	1	0,0750	c	-40
Promedio	0,1360				87,5				0,1185		

Basado en el desarrollo de los genotipos procedentes de zona sur, establecidos en un sitio clase I para producción de melina, se identificaron los clones 12 y 17 como los candidatos para el primer nivel de selección, mientras que para el segundo se escogieron los clones 12, 17, 16, 13, 7, 23 y 21, los cuales, tanto para volumen comercial como al agregar la variable calidad, son los únicos que mantienen ganancia superior al 10%, respecto de la media poblacional. Claramente los seis genotipos seleccionados se podrían continuar utilizando para reforestación comercial, sin embargo, solamente los clones 12 y 17 se deberían mantener en un programa de mejoramiento genético que continúen en una fase posterior para el cruzamiento sexual (Kumar, 2007), con otras poblaciones identificadas con características superiores, ya sea dentro o fuera de Costa Rica para enriquecer las bases genéticas (Lauridsen y Kjaer, 2002).

Por su parte, con base en la evaluación del volumen comercial de calidad, los clones 24, 19, 11, 20 y 1, procedentes de la zona sur, no deberían utilizarse para reforestación comercial en este tipo de sitios clase I, pero se pueden conservar como parte de un banco de germoplasma. Al utilizar estos materiales se podrían obtener rendimientos para la variable evaluada por debajo de la media poblacional de hasta 40%, tal es el caso del clon 1.

Se debe ser estricto en la utilización únicamente de los clones identificados, al respecto Balcorta y Vargas (2004) apuntan que el éxito de los programas de mejoramiento genético se determina por la calidad de los árboles seleccionados y la ganancia genética. Por ello la selección de posibles clones se realizó en dos niveles de selección considerados rigurosos con base en la media poblacional.



De la misma manera que lo planteado en la presente investigación, los dos clones seleccionados por Padua (2004) registraron ganancias fenotípicas superiores al 15% sobre la media poblacional, dejando de lado los que se encontraban por debajo de ese valor mínimo de ganancia. El resultado positivo de ese nivel de selección estricta lo registra el mismo autor, al determinar que los mismos dos clones continuaron siendo los mejores hasta la evaluación realizada a los seis años (Padua, 2003). Lo anterior demuestra la veracidad que tiene este tipo de selección.

Balcorta y Vargas (2004) mencionan que la persona genetista o silvicultora no puede manipular la heredabilidad, pero puede incrementar el diferencial de selección y obtener grandes ganancias, dependiendo de la variabilidad fenotípica y la intensidad de selección. La producción clonal solamente es exitosa cuando se utilizan los clones fenotípica y genotípicamente superiores, es decir, los clones élite (Kumar, 2007; Wee et. al., 2012); mediante esta técnica se captura el potencial del árbol deseado (Padua, 2003). Los resultados expuestos, basados en los dos niveles de selección, permiten al genetista y silvicultor definir con cuánta rigurosidad desea actuar.

En las figuras 3 y 4 se aprecia, de manera gráfica, el desarrollo del conjunto genético procedente de la zona norte y la zona sur, respectivamente, en cuanto al volumen comercial de calidad, establecidas en finca Puntarenas (sitio clase I para melina). Las dos líneas paralelas al eje "X" representan el promedio poblacional en cuanto a volumen comercial y volumen comercial de calidad (superior e inferior, respectivamente).

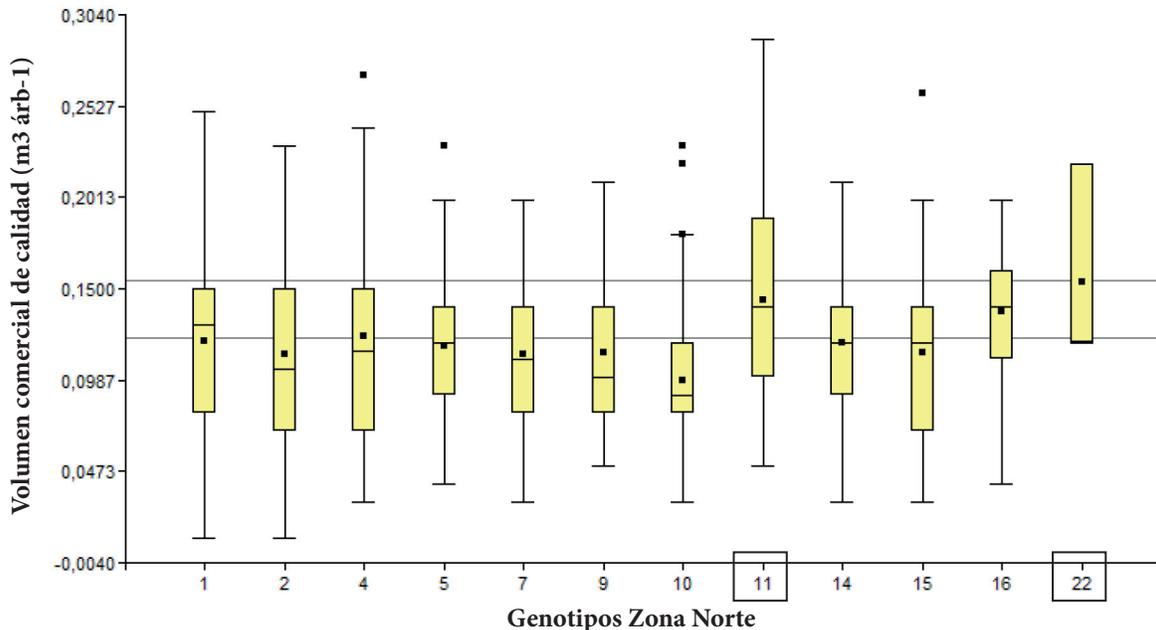


Figura 3. Desempeño de los clones procedentes de zona norte establecidos en un sitio clase I para producción de melina – finca Puntarenas.

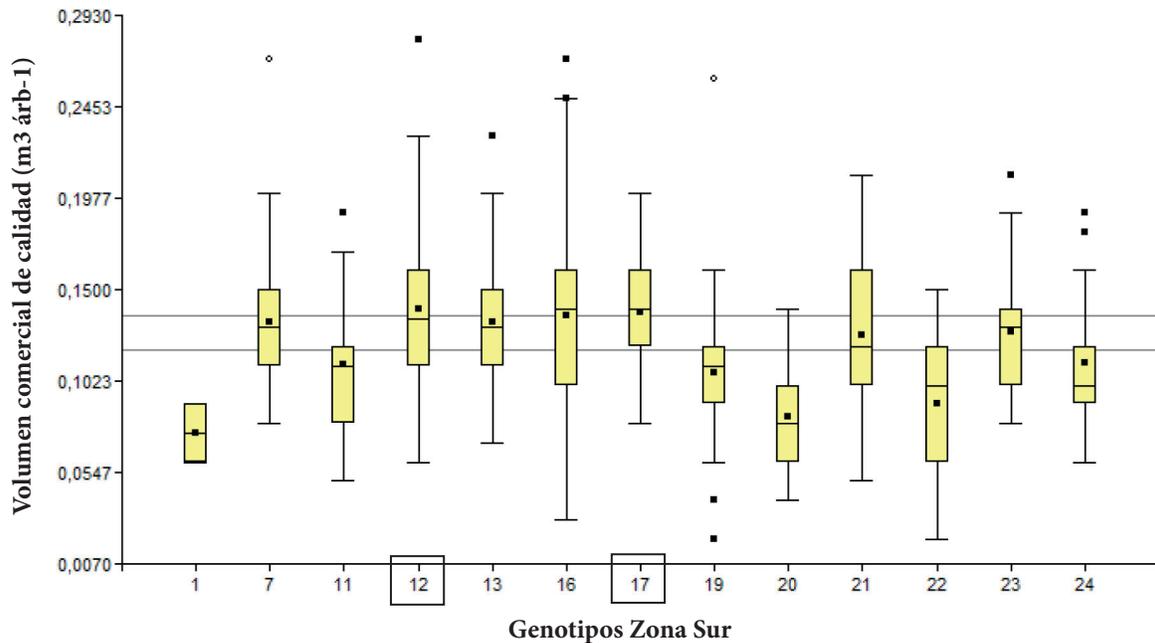


Figura 4. Desempeño de los clones procedentes de zona sur establecidos en un sitio clase I para producción de melina – finca Puntarenas.

Finca Puntarenas le permite a los genotipos expresar su potencial genético principalmente en cuanto a la variable calidad (Ávila, Murillo, Murillo y Sandoval 2015), por lo cual, por ejemplo, el clon 11 registró una ganancia fenotípica de 31% en volumen comercial de calidad, con respecto a la media de ambas poblaciones. De la misma manera, Salas (2012) indica que el volumen comercial registrado en una plantación clonal, en la evaluación realizada a los 18 meses de edad, mostró un enorme potencial de mejoramiento genético, al presentar un valor del coeficiente de variación genético alto.

Los clones seleccionados para continuar siendo multiplicados comercialmente son el 22, 11 y 16 de zona norte, así como el 12, 17, 16, 13, 7, 23 y 21 de zona sur; todos juntos representan el 36% del total de ambas colecciones genéticas. Padua (2004) obtuvo un resultado muy similar, al concluir que aproximadamente el 30% de los clones evaluados pueden ser considerados como de altísimo potencial para el desarrollo de operaciones en el campo a gran escala.

Finalmente, queda en manos del silvicultor o silvicultora la elección de utilizar los clones de una procedencia u otra en este tipo de sitios. Dicha escogencia se debe basar en el objetivo comercial final de la materia prima que se obtendrá, es decir, si es biomasa se podrían utilizar los clones de cualesquiera de las dos procedencias indistintamente, ya que la diferencia entre ellas es pequeña, en cuanto al volumen producido. No obstante, si el objetivo final es obtener madera con la mayor calidad posible para productos de alto valor agregado, en este tipo de sitios, definitivamente, se deberían utilizar los clones provenientes de zona sur.



En los **cuadros 4 y 5** se presenta la ganancia fenotípica, sobre y bajo la media poblacional, según sea el caso, registrada para cada uno de los clones procedentes de la zona norte y la zona sur, respectivamente, basada en su desempeño en cuanto al volumen comercial, calidad y volumen comercial de calidad, ambas procedencias en un sitio clase III para la producción de melina.

Cuadro 4. Ganancia fenotípica en las variables volumen comercial, calidad y volumen comercial de calidad para los clones zona norte establecidos en sitio clase III para melina - finca La Amapola.

Volumen comercial ($m^3 \cdot \text{árbol}^{-1}$)			Calidad (%)			Volumen comercial de calidad ($m^3 \cdot \text{árbol}^{-1}$)		
Clon	Media	Ganancia (%)	Clon	Media	Ganancia (%)	Clon	Media	Ganancia (%)
5	0,1090 a	12	5	31,6 a	32	5	0,0356 a	38
1	0,1037 a	2	16	30,5 a	27	16	0,0286 a	11
7	0,1037 a	2	11	26,9 a	12	1	0,0286 a	11
4	0,1025 a	2	9	25,9 a	8	9	0,0280 a	9
10	0,0998 a	2	2	25,8 a	7	4	0,0272 a	5
2	0,0989 a	2	15	24,4 a	2	2	0,0256 a	-1
9	0,0985 a	2	1	23,2 a	-3	15	0,0248 a	-4
16	0,0974 a	2	4	21,2 a	-12	11	0,0248 a	-4
15	0,0908 a	-8	7	18,8 a	-22	7	0,0234 a	-9
11	0,0908 a	-8	14	17,8 a	-26	10	0,0196 a	-24
14	0,0838 a	-8	10	17,6 a	-26	14	0,0170 a	-34
Promedio	0,0982			24,0			0,0258	

La evaluación del desarrollo de los genotipos procedentes de zona norte, establecidos en un sitio clase III para producción de melina, registra que solamente el clon 5 debería ser seleccionado para continuar en el proceso de mejoramiento genético para este tipo de sitios, al ser el único que cumple con el mínimo establecido para el primer nivel de selección. Por su parte, se identifican los clones 5, 16 y 1 como los candidatos para seguirse multiplicando y ser utilizados en proyectos de reforestación comercial. Al utilizar estos tres clones en sitios clase III para melina se podrían obtener ganancias en volumen comercial de calidad en promedio de 20% y de un máximo de 38% para el clon 5.

El clon 11 registró un caso muy particular, al ubicarse en la posición número tres en cuanto a calidad, para este tipo de sitios; sin embargo, se encuentra en los últimos puestos en cuanto a volumen comercial y volumen comercial de calidad. Lo anterior lo convierte en un fuerte candidato para un posible cruce controlado (Indira, 2006), con un clon que registre buen desempeño en cuanto a las anteriores variables. Por ejemplo, el clon 1 registró valores realmente aceptables en cuanto a volumen comercial, pero bajo valor en calidad, por lo que al cruzar los clones 11 y 1 se podrían trabajar múltiples características deseables al mismo tiempo. Situación



similar fue reportada por Salas (2012), al concluir que no siempre los clones de mayor calidad son los de mejor diámetro y volumen.

El clon 16 de la zona norte podría ser utilizado tanto en sitios clase I como sitios clase III para reforestación comercial, con base en la evaluación sobre el volumen comercial de calidad.

Por su parte, los clones 9, 4, 2, 15, 11, 7, 10 y 14 no deberían utilizarse más para proyectos de reforestación comercial en este tipo de sitios y, de igual manera, conservarse como parte de un banco de germoplasma. Si se utilizaran los anteriores clones, podría llegar a obtenerse hasta un 34% menos de la media poblacional de toda la colección (clon 14). El clon 22 de la zona norte pasó de tener un 25% de ganancia en cuanto a volumen comercial de calidad en sitios clase I, a no resistir las condiciones presentes en este sitio clase III, con un registro de un 100% de mortalidad. La evaluación realizada a los clones procedentes de zona sur reveló que ninguno de ellos obtuvo ganancias sobre la media poblacional suficientes para ser considerados candidatos para continuar en un programa de mejoramiento genético en sitios clase III de producción de melina. El clon 20 registró una ganancia de 18% en cuanto al volumen comercial; no obstante, ocupó la última posición en cuanto a calidad, por lo cual ni siquiera ese genotipo podría considerarse como candidato para el primer nivel de selección.

Cuadro 5. Ganancia fenotípica en las variables volumen comercial, calidad y volumen comercial de calidad para los clones zona sur establecidos en sitio clase III para melina - finca La Amapola

Volumen comercial (m ³ *árbol ⁻¹)			Calidad (%)			Volumen comercial de calidad (m ³ *árbol ⁻¹)		
Clon	Media	Ganancia (%)	Clon	Media	Ganancia (%)	Clon	Media	Ganancia (%)
20	0,1502 a	18	1	46,1 a	17	17	0,0568 ab	10
19	0,1444 a	10	17	44,6 a	13	19	0,0564 ab	9
21	0,1391 a	10	24	43,1 a	9	11	0,0545 b	5
11	0,1358 a	2	23	42,9 a	9	21	0,0534 b	3
12	0,1293 a	2	7	39,8 a	1	1	0,0533 b	3
17	0,1284 a	2	16	39,1 a	-1	13	0,0515 b	0
16	0,1283 a	-6	12	37,6 a	-5	20	0,0499 b	-3
7	0,1245 a	-6	21	37,3 a	-6	16	0,0493 b	-5
13	0,1225 a	-6	23	37,1 a	-6	7	0,0493 b	-5
23	0,1185 a	-6	11	36,3 a	-8	12	0,0454 b	-12
1	0,1168 a	-6	19	35,8 a	-9	24	0,0455 b	-12
24	0,1130 a	-14	20	34,1 a	-14	23	0,0446 b	-14
Promedio	0,1300			39,5			0,0517	



Los clones 17, 20, 19 y 21 podrían seguir poniéndose a disposición de los productores que deseen establecer proyectos de reforestación comercial en sitios con limitantes por exceso de agua, drenaje y propiedades físicas del suelo como textura y estructura como las presentes en el sitio experimental evaluado (clase III para melina). Los restantes clones deben descartarse para un potencial programa de mejoramiento genético, pues presentan valores promedios que no cumplen con los límites establecidos ni las características requeridas.

El desempeño registrado en sitios clase III por los clones procedentes de zona sur es contrastante con el mostrado en sitios clase I. *Ávila et al. (2015)* concluyeron que, para estos genotipos, condiciones de sitio adversas producen el efecto más negativo sobre la variable calidad; en la presente investigación dicha variable pasó de 87,5% en promedio, en sitios clase I, a 39,5% en sitios clase III. El volumen comercial entre ambas condiciones de sitio varió tan solo un 5%; sin embargo, al incluirle la calidad, el volumen comercial de calidad se redujo en un -129%. Lo anterior es explicado por autores varios al puntualizar sobre la marcada sensibilidad de la melina al sitio, al punto de llegar a considerarla extremadamente sitio - específica (*Ávila et al., 2015; Dvorak, 2003; Hall, Love, Garen, Slusser, Saltonstall, Mathias, van Breugel, Ibarra, Bork, Spaner, Wishnie y Ashton, 2011; Indira 2006*).

En las **figuras 5 y 6** se presenta, de manera gráfica, la selección de clones realizada para ambos conjuntos genéticos (norte y sur) en este sitio clase III para producción de melina.

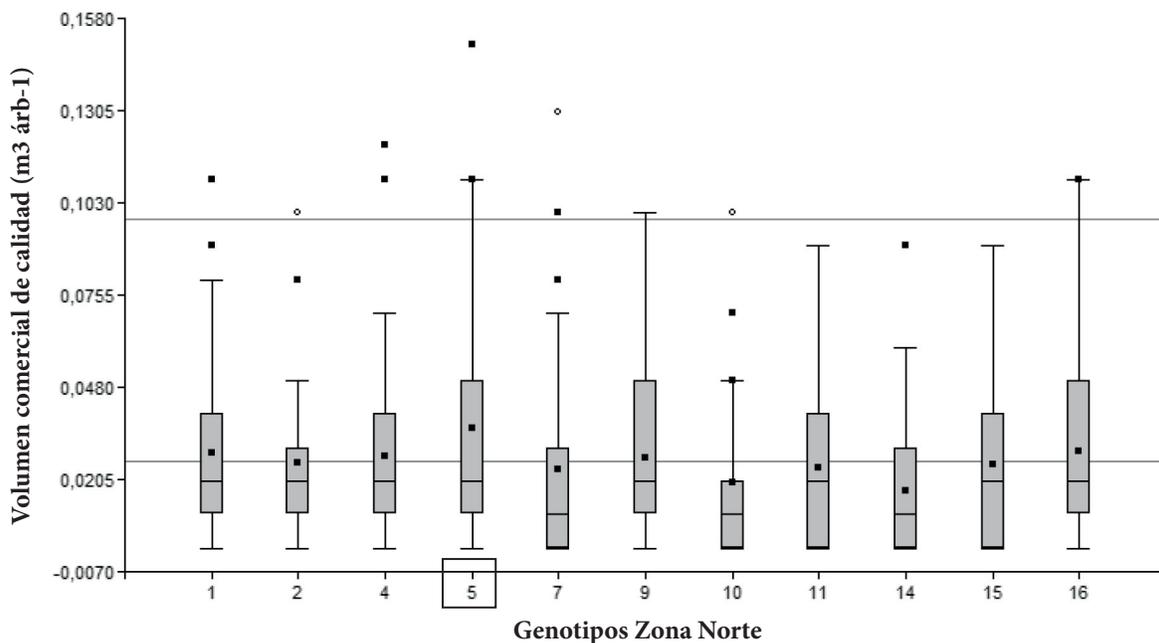


Figura 5. Desempeño de los clones procedentes de zona norte establecidos en un sitio clase III para producción de melina – finca La Amapola.

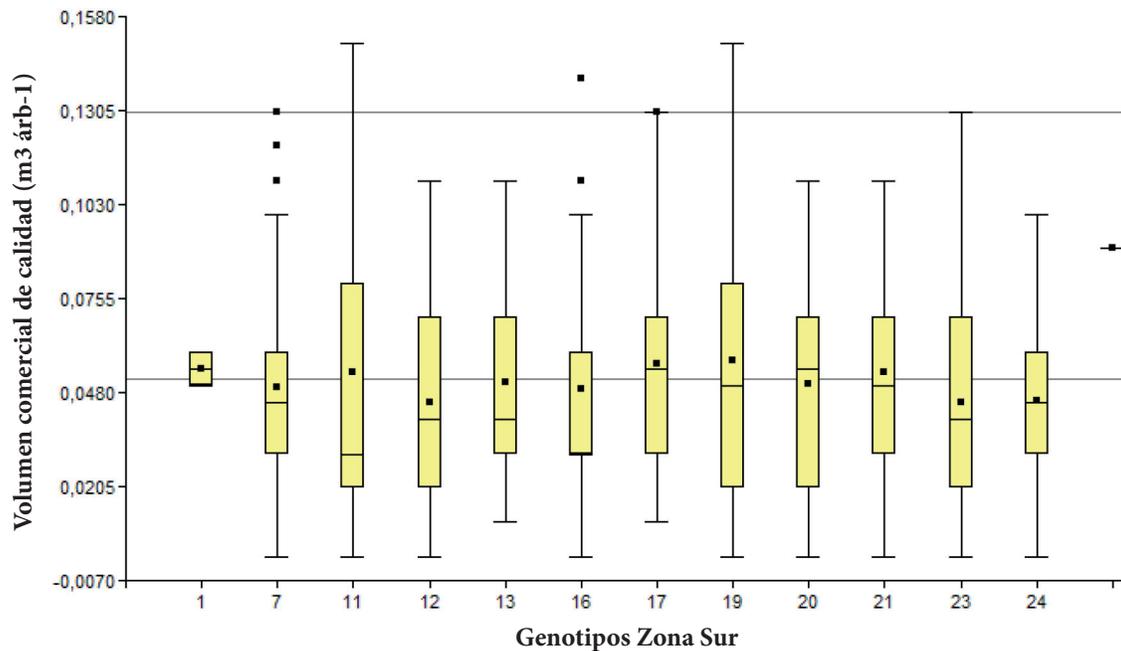


Figura 6. Desempeño de los clones procedentes de zona sur establecidos en un sitio clase III para producción de melina – finca La Amapola.

Para finca La Amapola, se identificó el clon 5 proveniente de zona norte como el único candidato para continuar en un programa de mejoramiento genético. Por otro lado, los clones 5, 16 y 1 de zona norte, al igual que el 17, 20, 19 y 21 de zona sur, pueden ser establecidos en proyectos de reforestación comercial, según los requisitos establecidos para cada uno de los niveles de selección. No obstante, en este sitio se presentó una particularidad, el promedio en volumen comercial de calidad del mejor clon de zona norte (clon 5= $0,0356 \text{ m}^3 \cdot \text{árbol}^{-1}$) es inferior al del clon 14 de zona sur, que se ubicó en la última posición de su procedencia ($0,0446 \text{ m}^3 \cdot \text{árbol}^{-1}$). Con base en lo anterior, no deberían ser utilizados los clones procedentes de la zona norte, en sitios que presenten condiciones similares a las de finca La Amapola. En este tipo de sitios se deberían utilizar los clones provenientes de zona sur identificados con potencial para proyectos de reforestación comercial, a saber 17, 20 19 y 21.

El clon 5 de zona norte fue identificado como candidato para continuar en un programa de mejoramiento genético en ambos sitios; este resultado es similar al reportado por Indira (2006), quien obtuvo un comportamiento constante de algunos clones para los sitios evaluados, por lo que, en su selección final, fueron los mismos genotipos. La multiplicación y establecimiento comercial de los clones seleccionados producirá una nueva población de árboles con mejores características en cantidad y calidad de volumen comercial (Balcorta y Vargas, 2004; Padua, 2003).

A pesar de los argumentos que justifican la selección realizada, las recomendaciones no pueden ser tomadas como una regla (Padua, 2004), dado que esta investigación fue muy específica en cuanto a los conjuntos genéticos y sitios, condiciones para las cuales aplican los resultados; en cualquier otra circunstancia, aunque sea similar, de deben utilizar con cuidado las recomendaciones brindadas.



Adicionalmente, Kumar (2007) y Tawara (1996) apuntan que dos o tres años luego de plantar, respectivamente, aún es una etapa relativamente temprana, de tal manera que, para obtener mayor exactitud y seguridad, deben realizarse evaluaciones en años posteriores. Adicionalmente, Lauridsen y Kjaer (2002) recomiendan hacer una segunda evaluación para constatar que los clones seleccionados fueron consistentes en el tiempo.

4. Conclusiones

Se lograron identificar los clones superiores de los dos conjuntos genéticos evaluados para cada sitio. En el sitio clase I para producción de melina se seleccionaron los clones 11 y 22 de zona norte, así como el 17 y 12 de la zona sur para continuar con el proceso de mejoramiento genético; de la misma manera, el clon 16 de zona norte y los clones 12, 17, 16, 13, 7, 23 y 21 de zona sur, para el establecimiento de proyectos de reforestación comercial. En el sitio clase III, se identificó el clon 5 procedente de la zona norte para continuar en un programa de mejoramiento genético. Así como los clones 5, 16 y 1 de zona norte y el 17, 20, 19 y 21 de zona sur para ser establecidos en proyectos de reforestación comercial. No obstante, en el sitio clase III, se deberían utilizar, únicamente, los clones provenientes de zona sur (17, 20 19 y 21); esto, debido a que el clon de zona norte, en cuanto al volumen comercial de calidad (5), registró un valor inferior al clon de zona sur que se ubicó en la última posición de su procedencia (14).

Los clones provenientes de la zona sur y la zona norte que no fueron catalogados en alguno de los dos niveles de selección anteriores no deberían colocarse a disposición de los productores para proyectos de reforestación comercial, al no registrar ganancias que justifiquen seguir multiplicándolos, e inclusive generar producciones inferiores a las media de cada conjunto genético. Finalmente, las condiciones presentes en finca La Amapola afectaron negativamente ambos conjuntos genéticos evaluados, al no permitirles expresar todo el potencial que sí fue mostrado en finca Puntarenas, en términos de volumen comercial de calidad.

5. 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, R.L., el material genético de ambas colecciones de clones para la respectiva evaluación. Además, al equipo revisor anónimo de la Revista por sus aportes, los cuales enriquecieron el presente documento.

6. Referencias

Ávila, C., Murillo, R., Murillo, O. y Sandoval, C. (2015). Interacción genotipo sitio para dos conjuntos clonales de *Gmelina arborea* Roxb., en sitios planos del Pacífico Sur de Costa Rica.



- Revista Kurú*, 12(29), 2-14. Recuperado de <http://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/2250/0>
- 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), 13-19.
- Barrantes, A., Paniagua, R. y Salazar, G. (2011). *Usos y portes de la madera en Costa Rica: Estadísticas 2010*. San José, Costa Rica: ONF.
- 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 de maestría, inédita). CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Cornelius, J. (1994). The effectiveness of plus-tree selection for yield. *Forest Ecology and Management*, 67, 23-34. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)90004-3](http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127(94)90004-3)
- Corpuz, O. (2011). Growth and heritability of three year old *Gmelina* plantation. National Research and Development Conference. Philippines.
- Dvorak, W. (2003). World view of *Gmelina arborea*: Opportunities and challenges. In W. S. Dvorak, G. R. Hodge, W. C. Woodbridge and J. L. Romero (Eds.), *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, 217-226. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1023/B:NEFO.0000040949.63618.25>
- Franzel, S., Jaenicke, H. y Janssen, W. (1996). Choosing the right trees: Setting priorities for multipurpose tree improvement. ISNAR. *Research report*, 8, 9.
- Hall, J., Love, B., Garen, E., Slusser, J., Saltonstall, K., Mathias, S., van Breugel, M., Ibarra, D., Bork, E., Spaner, D., Wishnie, M. y Ashton, M. (2011). Tree plantations on farms: Evaluating growth and potential for success. *Forest Ecology and Management*, 261, 1675-1683. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.042>
- Herasme Montas, R. (1997). *Correlaciones juvenil – maduro en Gmelina arborea Roxb.* (Tesis de maestría inédita). CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Hodge, G. y Dvorak, W. (2004). The CAMCORE international provenance / progeny trials of *Gmelina arborea*: Genetic parameters and potential gain. *New Forest*, 28, 147-166. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1023/B:NEFO.0000040942.34566.a7>
- Indira, E. (2006). Provenance variations in *Gmelina arborea* with particular reference to tree form. *Journal of Tropical Forest Science*, 18(1), 36-50. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1023/B:NEFO.0000040941.18907.b0>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2015). *VI Censo nacional agropecuario: Resultados generales* (1ª ed.). San José, Costa Rica.



- Kumar, A. (2007). Growth performance and variability in different clones of *Gmelina arborea* (Roxb.). *Silvae Genetica*, 56, 32-36.
- Lauridsen, E. (2004). Features of some provenances in an international provenance experiment of *Gmelina arborea*. *New Forest*, 28, 127-145.
- Lauridsen, E. y 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), 1-15.
- Murillo, O. (junio, 2011). *Estrategia de mejoramiento genético para la cooperativa GENFORES*. Trabajo presentado en el XII Congreso Nacional Colombiano de Mejoramiento Genético de Cultivos, Córdoba, Colombia.
- Murillo, O. y Badilla, Y. (2010). *Calidad de la plantación forestal* (Información sin publicar). Escuela de Ingeniería Forestal-ITCR. Cartago, Costa Rica.
- Murillo, O. y Valerio, J. (1991). Melina (*Gmelina arborea*) especie de árbol de uso múltiple en América Central. *Colección de Guías Silviculturales*. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- 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 de licenciatura inédita). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Murillo, R. y Ávila, C. (2011). *Informe final del proyecto Mejoramiento de la capacidad productiva de pequeños y medianos reforestadores de la Zona Sur* (inédito). INISEFOR-UNA-CONARE. Heredia, Costa Rica.
- Obregón, C. (2006). *Gmelina arborea*: Versatilidad, renovación y productividad sostenible para el futuro. *Revista el mueble y la madera (M y M)*, 50,14-20.
- Ogar, D., Otu, D. y Mgbang, E. (2014). Assessment of second generation *Gmelina arborea* stock in Awi, Nigeria. *European Journal of Agriculture and Forestry Research*, 2(4), 32-41.
- Padua, F. (setiembre, 2003). *Clonal correlation in growth and stem quality of Gmelina arborea*. Trabajo presentado en el XII World Forestry Congress. Québec City, Canada. Recuperado de <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, 195-200. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1023/B:NEFO.0000040946.46722.1c>
- Raudales, B. (2009). *Diseño de un programa de mejoramiento genético para Gmelina arborea en Zamorano, Honduras* (Tesis de licenciatura). El Zamorano, Honduras. Recuperada de <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/392/1/T2823.pdf>
- Rojas, F., Arias, D., Moya, R., Meza, A., Murillo, O. y Arguedas, M. (2004). *Manual para productores de melina (Gmelina arborea) en Costa Rica: Botánica y ecología*. Cartago, Costa Rica, ITCR.



- Salas, R. (2012). *Evaluación de un ensayo genético de Gmelina arborea en Siquirres, Limón* (Tesis de licenciatura inédita). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- SAS Institute. (2012). SAS/STAT 9, 2: User guide (2^a edition). SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- Tawara, C. (1996). *Variacao clonal de melina (G. arborea Roxb) na Costa Rica* (Tesis de maestría inédita), CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Wee, A., Li, C. y Dvorak, W. (2012). Genetic diversity in natural populations of *Gmelina arborea*: implications for breeding and conservation. *New Forests*, 43, 411-428. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-011-9288-2>
- Zeaser, D. y Murillo, R. (1995). Conceptos generales sobre la selección de sitios para plantar melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en el sur de la provincia de Puntarenas. STON Forestal SA. Departamento de Investigación y Desarrollo. Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica.