

Interacción genotipo sitio para dos conjuntos clonales de *Gmelina arborea* Roxb., en sitios planos del Pacífico Sur de Costa Rica

Carlos Ávila-Arias¹

Rafael Murillo-Cruz¹⁻²

Olman Murillo-Gamboa³

Christopher Sandoval-Sandoval¹⁻³⁻⁴

Resumen

Se estudió la interacción genotipo-sitio para dos conjuntos clonales de *Gmelina arborea* en el Pacífico Sur de Costa Rica. Esta especie tiene gran importancia como fuente de materia prima, principalmente por su rápido crecimiento, fácil adaptación a diversidad de condiciones de sitio y variedad de usos para su madera. Esta investigación se realizó en dos ensayos clonales, instalados en el pacífico sur de Costa Rica por parte del INSEFOR-UNA. Se evaluaron 2 conjuntos de clones procedentes de la zona norte y la zona sur de Costa Rica. A los 24 meses se evaluaron los siguientes parámetros: diámetro altura de pecho (DAP), altura comercial, volumen comercial con corteza, calidad y volumen comercial de calidad. Se realizó un análisis de varianza y una prueba de medias de Tuckey ($\alpha = 0,05$) con el programa estadístico SAS versión 9,2. El sitio generó diferencias significativas

Abstract

The genotype-site interaction for two clonal sets of *Gmelina arborea* in the South Pacific of Costa Rica was studied. This specie has great importance as a raw material source, mainly because of its rapid growth, easy adaptation to a variety of site conditions and variety of wood uses. This research was conducted in two clonal trials, installed in the south pacific of Costa Rica by INSEFOR-UNA. Two sets of clones were assessed, one from the north and one from the south of Costa Rica. The parameters that were evaluated at 24 months were: diameter breast height (DBH), commercial height, commercial volume with bark, quality and volume of quality. An analysis of variance and Tukey mean test ($\alpha = 0,05$) was performed using SAS version 9.2. The site recorded significant differences in the development of south zone clones on DBH, commercial height, quality and volume of quality parameters. The clone 17 from

1. Universidad Nacional, Instituto de Investigación y Servicios Forestales; Heredia, Costa Rica; carlosenriquea79@gmail.com; +(506) 2562-4618 *Autor para correspondencia

2. murillorafael5454@yahoo.com

3. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal (GENFORES); Cartago, Costa Rica; olmuga@yahoo.es

4. csandova@una.cr

en el desarrollo del conjunto clonal de la zona sur en los parámetros DAP, altura comercial, calidad y volumen comercial de calidad. El clon 17 de zona sur se mantuvo en las dos primeras posiciones en ambos sitios. La procedencia zona norte expresó mayor sensibilidad a las condiciones de sitio tanto para la calidad como para el volumen comercial de calidad, que los de la zona sur. El conjunto clonal zona norte no debería ser recomendada para establecer plantaciones comerciales en sitios clase II-III, que presenten problemas de encharcamiento por exceso de agua, condiciones físicas adversas del suelo o lento drenaje natural.

Palabras clave: *Gmelina arborea*, clon, interacción genotipo-sitio, Costa Rica.

south zone remained in the two top positions at both sites. The north zone provenance expressed higher sensitivity to site conditions for both quality and commercial quality volume than the south one. The north provenance clones should not be recommended to establish commercial plantations in class II-III sites that present problems of excess water ponding, adverse soil physical conditions or slow natural drainage.

Keywords: *Gmelina arborea*, clone, genotype-site interaction, Costa Rica.

Introducción

La melina (*Gmelina arborea* Roxb.) es de gran importancia como generadora de materia prima en Costa Rica, donde el 30,4% del área plantada, sometida al Programa de Pago por Servicios Ambientales del año 1998 al 2008, corresponde a dicha especie (FONAFIFO, 2010). El establecimiento de grandes áreas con melina es gracias a su rápido crecimiento, fácil adaptación a diversidad de condiciones de sitio y gran variedad de usos para su madera (Rojas, Arias, Moya, Meza, Murillo y Arguedas, 2004, Rojas y Murillo, 2004, Indira, 2006). Los sitios de producción permanente con ésta especie se convierten en una significativa opción para garantizar el abastecimiento de materia prima para la industria forestal en áreas tropicales de todo el mundo (Padua, 2003, Balcorta y Vargas, 2004, Obregón, 2006, Kumar, 2007, Wee et al., 2012).

En Costa Rica el consumo de madera en rollo varió desde 800 000 m³ año⁻¹ en el 2004 (ONF, 2004, Barrantes y Salazar, 2005) hasta prácticamente 1 000 000 de m³ año⁻¹ en el 2010 (Barrantes et al., 2011). Dicho aumento y la sostenida disminución de la tasa de establecimiento de plantaciones a nivel nacional, han puesto al país frente a una crisis en el suministro de materia prima proveniente de fuentes renovables (Corella, 2009). Sin embargo, antes de atender las sugerencias hechas por el mismo autor, con el fin de subsanar dicho déficit, se deben cubrir vacíos dejados por preguntas a medio responder como ¿cuál material genético se debería plantar en cada uno de los sitios potenciales para obtener el mayor rendimiento de producción en cantidad y calidad? Para ello, existe una latente y permanente necesidad de generar información clave que indique en qué grado las condiciones particulares de cada sitio pueden afectar el desarrollo, tanto en volumen comercial como en calidad, de materiales clonales seleccionados.

La falta de información sobre el potencial genético y desempeño de materiales genéticos específicos de melina, según el sitio, dificultan el ordenamiento forestal, en aras de lograr un manejo intensivo de la especie que maximice la producción por unidad de superficie. Es necesario evaluar el crecimiento y la forma de los materiales genéticos de melina que en éste momento se comercializan (Ávila, Murillo, Murillo y Sandoval, 2015) y de los cuales se cuenta con escasa o nula información sobre su desempeño en distintas condiciones de sitio.

La productividad de la melina varía según el sitio, por lo tanto la influencia de los factores edafo-climáticos en el crecimiento de los árboles debería estar bien estudiada (Osorio, 2004). Se ha plantado con buenos resultados en suelos Inceptisoles, Entisoles (aluviales), Alfisoles (Murillo y Valerio, 1991), Entisoles (Sánchez y Romero, 2004) y ocasionalmente Ultisoles (Espinoza, 2004). En suelos Vertisoles, sin una adecuada preparación y manejo del suelo, los pocos árboles que sobreviven presentan un fuste defectuoso (Ugalde, 1997, Espinoza, 2004). Las plantaciones de melina no prosperan en suelos muy erosionados o compactados, se sugiere plantarla en suelos profundos, húmedos pero bien drenados; los obstáculos en el desarrollo radical se identifican como uno de los principales limitantes y causante de árboles con defectos (Rojas et al., 2004, Mariño, 2006).

En el Cuadro 1 se establece una guía de las variables edafo-climáticas que determinan las distintas clases de sitio para producción de *Gmelina arborea* en la zona sur.

Según Zeaser y Murillo (1995), la melina crece mejor en suelos con pH mayor de 6 y decrece conforme disminuye el pH. Los mejores sitios se encuentran ubicados en suelos con contenidos de Ca y de Mg mayores a 6 y hasta 10 meq/100 ml⁻¹ en el primer horizonte (Vásquez y Ugalde, 1995, Murillo, 1996). Por su parte, Henri (2001),

Cuadro 1. Características edafoclimáticas que determinan clases de sitio para melina en el pacífico sur de Costa Rica.

Table 1. Soil and climatic characteristics that determine site classes for melina in the south pacific of Costa Rica.

Parámetro	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
Topografía	Plana	plana, inclinada, cóncava	plana, ondulada, inclinada, convexa, cóncava	ondulada, accidentada, convexa
Pendiente	0-5%	0-8%	9-30%	>30%
Meses secos	0-2	3	3	>3
Temperatura mínima	>18 °C	>18 °C	>18 °C	>14 °C
Vientos	Leve	Moderado	Moderado	Estacionales
Precipitación	3 800 hasta 5 000 mm año ⁻¹	3 500 hasta 5 000 mm año ⁻¹	2 500 hasta 3 800 mm año ⁻¹	<2 000 mm año ⁻¹
Suelos	Inceptisoles / Entisoles	Inceptisoles	Alfisoles / Ultisoles	Ultisoles
Profund. efectiva	> 80 cm	50 -79 cm	40- 49 cm	< 40 cm
Drenaje interno	Bueno	Bueno hasta moderado	Rápido o lento	Muy rápido o muy lento
Textura	Franco arcilloso	Franco arenoso hasta limo	Franco arenoso hasta arcilloso	Arenoso o arcilloso
Pedregosidad	Ninguna-gravillas	Ninguna - poco gravillas	Común	Muy común frecuente
pH	6,0 – 6,5	6,0	5,5 – 5,9	4,8 – 5,4
CICE (aprox.)	>20 meq	15 - 19 meq	6 -14 meq	< 6 meq
Saturación de acidez	< 3%	3-10%	11-25%	> 25%

Fuente: Zeaser y Murillo (1995)

en un estudio con melina en Venezuela, identificó que para ésta especie el 85% de la variación en altura puede ser explicada por la edad del árbol y la textura del horizonte A. El mismo autor encontró una correlación inversa entre el excesivo contenido de agua en el suelo y el crecimiento radicular de la melina, al igual que Vanegas (2011) quien lo atribuye a la disminución del oxígeno por debajo del 10% debido al exceso de agua. Los resultados de ambos autores fueron ratificados por Byron (2004).

Murillo (1996) identificó las variables edáficas más relevantes en el crecimiento de la melina a nivel de micro-sitio; las características de la capa de suelo de 15 a 30 cm de profundidad son las que explican la mayor parte de las diferencias en su crecimiento.

Todo lo anterior indica que el material a utilizar debe estar vinculado apropiadamente a cada sitio forestal en particular, es por ello que en la planificación de la plantación es fundamental identificar las variables idóneas para determinar, ya sea a nivel de procedencia o clon, los materiales genéticos más apropiados para cada sitio (principio conocido como silvicultura de precisión).

Portodo lo descrito anteriormente, 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

determinar la existencia de interacción genotipo sitio en el crecimiento y calidad de dos conjuntos clonales de melina, con base en el volumen comercial, la calidad y el volumen comercial de calidad, a los dos años de edad, evaluadas en dos ensayos clonales establecidos en los cantones de Osa y Golfito, Pacífico Sur de Costa Rica.

Materiales y métodos

Descripción de los sitios

La presente investigación se desarrolló en dos ensayos clonales establecidos por el INISEFOR-UNA, con la especie *Gmelina arborea*. En cada uno de los sitios se realizó una preparación del terreno para homogenizar las condiciones y así evitar influencias en el desarrollo de los conjuntos clonales evaluados, lo anterior con el propósito de dejar como 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:

Finca Puntarenas: se encuentra ubicado 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%.



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

Figure 1. View of *Gmelina arborea* clonal trial established in Finca Puntarenas.



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

Figure 2. View of *Gmelina arborea* clonal trial established in Finca La Amapola.

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, de origen aluvial debido a la influencia del Río Sesenta. El sitio cumple con los requerimientos para un óptimo desarrollo de la especie (Murillo y Valerio 1991, Murillo 1996, Rojas et al., 2004, Espinoza, 2004, Murillo y Ávila, 2011), es catalogado como sitio clase I para la producción de melina. En la Figura 1 se aprecia una vista del ensayo.

Finca La Amapola: ubicado 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 del ensayo presentaba un horizonte A con problemas de compactación a 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. En la Figura 2 se aprecia una vista panorámica de dicho sitio.

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 evacuar 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 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

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 reproducidos vegetativamente por CoopeAgri.

Cada uno de los dos conjuntos clonales fueron establecidos por separado en los sitios seleccionados, es decir se obtuvieron dos ensayos individuales para cada conjunto clonal, uno por sitio, con un diseño de bloques completos al azar, es decir, se obtuvieron ensayos individuales por cada conjunto clonal, por lo tanto, fueron evaluadas por separado para ambos sitios. Cada ensayo cuenta con seis bloques completos al azar, dentro de cada bloque se incluyeron seis árboles de cada clon, los cuales fueron plantados en 3 pares de árboles distribuidos al azar dentro de cada bloque. Los ensayos en ambos sitios fueron instalados con un distanciamiento de 3,5 m tanto entre líneas como entre árboles.

VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

Las variables independientes de esta investigación fueron:

Sitio: la expresión de las variables independientes pueden estar condicionadas y directamente afectadas por su interacción con el sitio e inclusive con el micro-sitio (Murillo, 1996). Es por ello que 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, identificando las condiciones ambientales de micro-sitio que pudieran afectar el desempeño de los árboles, tanto en crecimiento como en calidad, con el fin de disminuir al mínimo posible la variabilidad del sitio dentro de cada bloque.

Conjunto clonal: se evaluaron dos conjuntos clonales: zona norte y zona sur. Con base en el análisis de las variables dependientes se determinó la influencia del sitio en el desarrollo de cada procedencia, es decir la interacción procedencia x sitio.

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

Las variables dependientes son las que se ven afectadas por los tratamientos que se realicen en determinado ensayo, en otras palabras son las que cambian en función de las variables independientes. Para ésta investigación dichas variables son:

Diámetro altura de pecho (DAP): se midió el diámetro normal (a 1,3 m) para cada árbol con cinta diamétrica de lona, marca Forestry Suppliers, Inc.

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:

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

Calidad: La calidad del árbol se estimó con el promedio ponderado de la calidad individual de sus primeros 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):

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

Finalmente, el valor de calidad del árbol se convierte entonces en una variable continua que registra 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:

$$\text{Calidad}_{\text{Base100}} = 100 * \left\{ 1 - \left[\frac{(\text{calidad} - 1)}{3} \right] \right\} \quad (3)$$

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

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.

Las variables volumen comercial y volumen comercial de calidad fueron las que, principalmente, concentraron la atención y discusión de resultados.

Análisis de la información

Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software SAS (2012) versión 9,2. Previamente se verificó el cumplimiento de los tres enunciados de la estadística paramétrica sobre los datos.

Para cada conjunto clonal se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para datos no balanceados sobre las variables dependientes descritas anteriormente, se usó como variable clasificadora el sitio. Posteriormente se aplicó la prueba de medias de Tuckey ($\alpha = 0,05$) como comparador múltiple, que permitió identificar las diferencias significativas entre sitios para cada uno de los conjuntos clonales evaluados, así como los porcentajes de superioridad de un sitio sobre en el desarrollo de cada una de las variables estudiadas.

Posteriormente se ordenaron los clones de cada conjunto genético por aparte, ubicándolos en orden descendente según su desempeño en ambos sitios para 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, según los sitios evaluados.

Finalmente, se colocaron en orden descendente los clones de cada procedencia por aparte, según su desempeño en cuanto al porcentaje de calidad y al volumen comercial de calidad, y se comparó cómo cada clon varió en su posición al cambiar de un sitio de estudio al otro, con el fin de determinar cambios en el desempeño de cada clon atribuibles a las condiciones propias de ambos sitios, para las variables dependientes mencionadas.

Resultados y discusión

La primera consideración en la escogencia de la especie a plantar es el grado de adaptación de la misma al sitio forestal (Lauridsen y Kjaer, 2002, Vanegas, 2011). El “sitio” forestal tiende a tener una connotación solamente espacial, sin embargo, el concepto no se refiere al espacio en sí, sino a las condiciones que lo caracterizan; el interés central de dicho concepto está en determinar el potencial de productividad de las especies forestales asociadas a determinada localidad o área (Henri, 2001, Vanegas, 2011). La línea base de la productividad para determinado sitio no es un concepto estático, es dinámico. La productividad del sitio es el resultado de complejas interacciones que ocurren entre distintos factores, dentro de los que destacan los edafo-climáticos,

Cuadro 2. Comparación del DAP, altura comercial, volumen comercial, calidad y volumen comercial de calidad para la procedencia zona sur en dos sitios del Pacífico Sur de Costa Rica.

Table 2. Comparison of DBH, commercial height, commercial volume, quality and volume of quality for the south zone provenance at two sites in the South Pacific of Costa Rica.

Sitio	Diámetro altura pecho (cm)		Altura comercial (m)		Volumen comercial (m ³ árbol ⁻¹)		Calidad (%)		Volumen de calidad (m ³ árbol ⁻¹)	
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE
Finca Puntarenas	15,87 a	0,21	9,94 a (+20%)	0,12	0,19 a (5%)	0,01	88,59 a (109%)	1,38	0,17 a (112%)	0,0048
Finca La Amapola	17,08 b (+7%)	0,27	8,23 b	0,15	0,20 a	0,01	42,31 b	1,77	0,08 b	0,01

Los números entre paréntesis representan la superioridad de un sitio sobre el otro en la expresión de cada parámetro. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

prácticas silviculturales y la genética del árbol; por tanto, la productividad del sitio será alterada cuando cualquiera de estos tres factores sea modificado (Byron, 2004). Comprender todas esas interacciones es la clave para el éxito de la silvicultura clonal. En la evaluación de los sitios se trata de determinar las limitaciones y potencialidades de los mismos en cuanto a su capacidad de producción para intentar equipararlo a los sitios buenos (Barros *et al.*, 2000, citado por Vanegas, 2011). Para Espinoza (2004), tanto los árboles como el suelo deben ser manejados activamente para optimizar la producción, es por ello que Balcorta y Vargas (2004) realizaron una caracterización muy minuciosa de cada sitio de plantación. En el Cuadro 2 se muestran los resultados para los parámetros evaluados sobre el conjunto clonal zona sur, en los dos sitios que son objeto de este estudio.

En la evaluación del material genético conjunto clonal sur, en los dos sitios, se registraron diferencias estadísticamente significativas para todos los parámetros estudiados, excepto volumen comercial. El desarrollo del DAP para dicho conjunto clonal, a pesar de registrar diferencias significativas entre sitios, registró poca variación fenotípica, lo que concuerda con lo reportado por Salas (2012). El DAP registró mayor desarrollo en Finca La Amapola, por su parte la altura comercial fue significativamente mayor en Finca Puntarenas, resultando que la variable volumen comercial no registrara diferencias significativas entre sitios al compensarse el mayor crecimiento de un parámetro en un sitio y el de otro parámetro en el otro sitio. En ambos sitios se evaluaron los mismos genotipos del conjunto clonal zona sur, establecidos con el mismo espaciamiento, es decir, las diferencias encontradas se podrían atribuir a la interacción de los clones de ésta procedencia con el sitio, influenciada principalmente por las condiciones edafoclimáticas.

El volumen comercial de calidad fue el parámetro sobre el cual se registró la mayor diferencia entre los sitios en la evaluación del conjunto clonal sur. Salas (2012) encontró resultados similares con la diferencia de que la variable

calidad no estaba integrada al volumen comercial evaluado por dicho autor. No obstante, la calidad de los árboles, fue el parámetro que marcó la principal diferencia registrada en cada sitio, ya que el volumen comercial, sin incorporar la variable calidad, no registró diferencias significativas entre sitios. Del anterior resultado se podría inferir además que, la calidad potencial del conjunto clonal zona sur es muy susceptible a las condiciones propias de los sitios donde fue establecida. Es decir, los clones procedentes de zona sur expresan solamente una fracción de su potencial de calidad en sitios clase II - III para melina. Lo anterior coincide con lo apuntado por distintos autores que la melina es extremadamente sensible a las condiciones de sitio (Greaves, 1981, Sandiford, 1990, Dvorak, 2003), reafirmando, que el obstáculo más serio para realizar comparaciones entre poblaciones, en el caso de la melina, es su marcada sensibilidad al sitio (Sandiford, 1990).

El conjunto clonal de la zona sur mantiene su producción de volumen comercial en sitios clase II - III para producción de melina, sin embargo, disminuye significativamente su calidad. Lo anterior confirma la necesidad de conocer cómo las condiciones propias de cada sitio afectan el desarrollo de genotipos específicos, con el fin último de escoger los más adecuados (Lauridsen y Kjaer, 2002), buscando con ello que los clones expresen todo su potencial fenotípico acorde a su genotipo. En sitios clase I para la producción de melina debería establecerse material clonal del conjunto zona sur, para obtener los mejores resultados.

En el Cuadro 3 se presentan los valores de los parámetros evaluados para el material genético de la procedencia zona sur, establecido en ambos sitios.

En cuanto a la evaluación del parámetro volumen comercial, no se registró una tendencia marcada de diferenciación en el desempeño del material genético proveniente de zona sur. Lauridsen (2004) y Corpuz (2011) también reportaron diferencias estadísticas leves o marginales en el desarrollo de la melina, sin llegar a

Cuadro 3. Posición de los clones procedencia zona sur según su desempeño fenotípico en cuanto a volumen comercial, la calidad y el volumen comercial de calidad en dos sitios del Pacífico Sur de Costa Rica.

Table 3. Position of south zone provenance clones by phenotypic performance in terms of commercial volume, quality and commercial quality volume at two sites in the South Pacific of Costa Rica.

Volumen comercial (m ³ árbol ⁻¹)			Calidad (%)			Volumen comercial de calidad (m ³ árbol ⁻¹)		
Clon	Media	Ganancia	Clon	Media	Ganancia	Clon	Media	Ganancia
17FP	0,1664 a	25,4%	23FP	96,7 a	52,3%	17FP	0,1664 a	78,1%
12FP	0,1590 a	19,9%	11FP	91,0 ab	43,3%	12FP	0,1590 a	70,2%
16FP	0,1526 ab	15,0%	13FP	90,8 ab	42,9%	16FP	0,1526 a	63,3%
20AMA	0,1502 ab	13,2%	19FP	89,5 ab	41,0%	7FP	0,1493 ab	59,8%
7FP	0,1493 ab	12,6%	7FP	89,2 ab	40,5%	21FP	0,1489 ab	59,4%
21FP	0,1489 ab	12,3%	16FP	88,8 ab	39,9%	13FP	0,1470 abc	57,3%
13FP	0,1470 ab	10,8%	21FP	86,9 ab	36,8%	23FP	0,1347 abc	44,2%
19AMA	0,1444 ab	8,9%	12FP	86,7 ab	36,5%	24FP	0,1315 abcd	40,7%
21AMA	0,1391 ab	4,9%	24FP	86,4 ab	36,0%	19FP	0,1220 abcd	30,6%
11AMA	0,1358 ab	2,4%	17FP	82,1 ab	29,3%	11FP	0,1196 abcd	28,0%
23FP	0,1347 ab	1,5%	1FP	81,7 ab	28,6%	20FP	0,1067 cdef	14,2%
24FP	0,1315 ab	-0,9%	20FP	80,1 ab	26,1%	1FP	0,0950 def	1,7%
12AMA	0,1293 ab	-2,5%	1AMA	46,2 c	-27,3%	17AMA	0,0568 ef	-39,2%
17AMA	0,1284 ab	-3,2%	17AMA	44,7 c	-29,7%	19AMA	0,0564 ef	-39,6%
16AMA	0,1283 ab	-3,3%	24AMA	43,2 c	-32,1%	11AMA	0,0545 ef	-41,7%
7AMA	0,1245 ab	-6,1%	23AMA	43,0 c	-32,3%	21AMA	0,0534 ef	-42,9%
13AMA	0,1225 ab	-7,6%	7AMA	39,8 c	-37,3%	1AMA	0,0533 ef	-43,0%
19FP	0,1220 ab	-8,0%	16AMA	39,1 c	-38,4%	13AMA	0,0515 ef	-44,9%
11FP	0,1196 ab	-9,8%	12AMA	37,7 c	-40,7%	20AMA	0,0499 ef	-46,6%
23AMA	0,1185 ab	-10,7%	21AMA	37,3 c	-41,3%	16AMA	0,0493 ef	-47,2%
1AMA	0,1168 ab	-11,9%	23AMA	37,1 c	-41,5%	7AMA	0,0493 ef	-47,2%
24AMA	0,1130 ab	-14,8%	11AMA	36,3 c	-42,8%	12AMA	0,0454 ef	-51,4%
20FP	0,1067 ab	-19,6%	19AMA	35,9 c	-43,5%	24AMA	0,0455 ef	-51,3%
1FP	0,0950 b	-28,4%	20AMA	34,1 c	-46,2%	23AMA	0,0446 f	-52,3%
0,1325			63,7			0,0850		

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

FP: Finca Puntarenas; **AMA:** Finca La Amapola.

ser significativas. Sin embargo, se aprecia que, de los cinco clones que registraron los valores más deseables en dicha variable, cuatro lo hicieron creciendo en Finca Puntarenas, lo que indica que ese parámetro para dicho conjunto clonal tendería a desarrollarse mejor en sitios clase I. En cuanto a la evaluación del parámetro calidad, el desempeño del material genético proveniente de la zona sur y creciendo en Finca Puntarenas, fue superior en la totalidad de sus clones en comparación con el mismo material creciendo en Finca La Amapola. En el primer sitio los clones expresaron ligeras diferencias entre sí, logrando ganancias en calidad, en comparación con la media general de la procedencia creciendo en ambos sitios, de hasta 52,3 %. Por su parte, en Finca La Amapola, el material genético de la procedencia zona sur registró un desempeño estadísticamente semejante entre sí, con valores de calidad inferiores al promedio general de hasta 46,2% (Cuadro 3).

Situación similar se presentó en la evaluación del parámetro volumen comercial de calidad, donde el conjunto clonal zona sur, creciendo en Finca Puntarenas, tuvo un desarrollo superior en su totalidad, con ganancias de hasta 78,1%, comparado al crecimiento del mismo conjunto clonal en Finca La Amapola donde se registraron disminuciones en dicho parámetro de hasta 52,2%. Finca Puntarenas le permitió al conjunto clonal zona sur, expresar diferencias estadísticas en el material que lo compone; por su parte en Finca La Amapola dicho conjunto clonal logró expresar diferencias únicamente para un clon, mientras que los demás fueron estadísticamente iguales. Es decir, para sitios clase II-III de producción de melina no importa cuál clon del conjunto clonal zona sur se establezca, ya que las condiciones del sitio harán que todos los clones crezcan igual. En cambio, las condiciones de sitio de Finca Puntarenas (clase I producción de melina) permiten la escogencia

Cuadro 4. Posición de cada clon procedente de zona sur en ambos sitios evaluados para las variables calidad y volumen comercial de calidad en el Pacífico Sur de Costa Rica.

Table 4. Position of each clone from south zone at both sites evaluated for quality and quality trade volume variables in the South Pacific of Costa Rica.

Calidad (%)		Volumen de calidad (m ³ árbol ⁻¹)	
Finca Puntarenas Clon (Promedio)	La Amapola Clon (Promedio)	Finca Puntarenas Clon (Promedio)	La Amapola Clon (Promedio)
23 (96)	1 (46)	12 (0,14)	17 (0,06)
11 (92)	17 (45)	17 (0,14)	19 (0,06)
13 (91)	24 (43)	16 (0,14)	11 (0,05)
7 (89)	13 (42)	13 (0,13)	21 (0,05)
16 (89)	7 (40)	7 (0,13)	1 (0,05)
19 (88)	11 (39)	23 (0,13)	13 (0,05)
12 (88)	21 (38)	21 (0,13)	20 (0,05)
21 (87)	12 (38)	24 (0,11)	16 (0,05)
24 (86)	23 (38)	11 (0,11)	7 (0,05)
17 (84)	16 (38)	19 (0,11)	23 (0,05)
1 (82)	19 (36)	20 (0,08)	24 (0,05)
20 (80)	20 (34)	1 (0,08)	12 (0,04)

de clones, con lo que se lograrían mayores rendimientos en volumen comercial de calidad por hectárea. Los clones 17, 12 y 16, creciendo en Finca Puntarenas, registraron ganancias superiores al 60% comparado con la media general de ambos sitios, en cuanto al volumen comercial de calidad. Lo que significa que, en esa magnitud se obtendrían mayores rendimientos en volumen comercial de calidad por hectárea utilizando dichos clones del conjunto clonal zona sur. Según Cornelius (1994), se podría esperar que las ganancias tanto fenotípicas como genotípicas aumenten con la edad, en la medida en que se exprese con mayor claridad la información genética de los materiales evaluados, según las condiciones del sitio se lo permitan.

El volumen comercial de calidad fue la variable que registró las diferencias fenotípicas más amplias entre clones del conjunto clonal zona sur, el mismo patrón fue reportado tanto por Balcorta y Vargas (2004) como por Salas (2012), quienes obtuvieron diferencias de hasta 150%, desde luego evaluando poblaciones con niveles de selección menos avanzados hasta similares a la presente investigación, respectivamente. Diferencias tan amplias implican, que aun con bajos niveles de heredabilidad, se obtendría una respuesta aceptable en el proceso de selección en este conjunto clonal (Balcorta y Vargas, 2004).

El hecho de que, en el conjunto clonal zona sur no se hayan presentado diferencias significativas creciendo en Finca La Amapola, en ninguno de los tres parámetros evaluados, sugiere que, dicho comportamiento se podría atribuir a las condiciones tan particulares del sitio, que podrían estar “confundiendo” los resultados, creando una “falsa” relación genotipo - ambiente. Hodge y Dvorak (2004) reportaron relativamente poca interacción

genotipo ambiente en el material genético evaluado a nivel de procedencia, pero una relación genotipo ambiente relativamente sustancial al nivel de familia. Por su parte Cornelius y Hernández (1995) reportaron una interacción genotipo ambiente significativa, similar a la registrada en ésta investigación para el conjunto clonal zona sur creciendo en Finca Puntarenas; no obstante los autores apuntan que dicho resultado encontrado no tiene importancia práctica por el tipo de material evaluado.

En el Cuadro 4 se muestra la posición que presenta el desarrollo de cada clon del conjunto clonal zona sur, creciendo en cada uno de los sitios en estudio, y la variación entre sitios.

Se aprecia claramente la susceptibilidad del conjunto clonal zona sur, en cuanto a la expresión de su potencial de calidad, a las condiciones del sitio. En un sitio clase I (Finca Puntarenas) el clon 23 llega a tener un valor promedio de calidad de 96 % pero al evaluarlo en un sitio clase II-III (Finca La Amapola) dicho valor baja hasta 38%. Todos los clones en el sitio clase I tienen valores de calidad promedio superiores a los mismos pero en un sitio clase II-III. Los clones ubicados en las siete primeras posiciones del sitio clase I bajan su calidad al evaluarlos en el sitio clase II-III; sin embargo, solamente el clon 23 registró una caída tan fuerte en su posición en cuanto a la calidad. Por su parte solamente cuatro clones aumentan su valor de calidad, al pasar del sitio clase I al sitio clase II-III. El clon 20 se colocó en la última posición en ambos sitios en cuanto a la calidad, sin embargo su valor promedio fue 135 % superior creciendo en Finca Puntarenas que en Finca La Amapola. Lo anterior refuerza que dicha colección genética tiene un gran potencial de calidad, sin embargo sitio clase II-III no le permiten expresarla.

En lo que se refiere al volumen comercial de calidad se obtuvo un comportamiento muy similar al análisis de la calidad. El clon 12 pasó de la primera posición en Finca Puntarenas a la última en Finca La Amapola, esto debido a una diferencia en calidad entre sitios de 131 %. Por su parte el clon 17 se mantuvo en las dos primeras posiciones en ambos sitios, siendo el único que no presentó un cambio abrupto en su posición de un sitio al otro, por lo que se debe de tomar como el primer candidato en la selección de los mejores clones para continuar con el proceso de depuración de la base genética. Todos los demás clones presentaron un comportamiento muy variable o errático, reportado también por Lauridsen (2004), de un sitio al otro, por lo que se debe analizar muy cuidadosamente cada uno para seleccionar cuáles podrían continuar en un posible proceso de selección genética. Resultados similares obtuvo Tawara (1996) al no encontrar clones estables para dos condiciones de sitio muy diferentes.

En el Cuadro 5 se muestran los resultados de los parámetros evaluados para el material genético del conjunto clonal zona norte, desarrollándose en los dos sitios objeto de estudio.

Los números entre paréntesis representan la superioridad de un sitio sobre el otro en la expresión de cada parámetro. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Se registraron diferencias significativas para todos los parámetros evaluados del desarrollo del conjunto clonal zona norte, entre los sitios donde fueron instalados los ensayos clonales. Los valores promedio registrados, para todas las variables, fueron mayores en Finca Puntarenas que en Finca La Amapola. La diferencia en diámetro registrada para el conjunto clonal zona norte entre ambos sitios es pequeña, al igual que lo reportado por Salas (2012). Sin embargo, la diferencia se va acrecentando conforme se evalúan los parámetros más complejos, hasta llegar a obtener 350 % más de volumen comercial de calidad en Finca Puntarenas, para el conjunto clonal zona norte. La expresión de la calidad de la colección genética procedente de zona norte registró una enorme diferencia al evaluar su desarrollo en Finca Puntarenas comparada con Finca La Amapola (78,94% y 23,94% respectivamente).

Los anteriores resultados sugieren tomar muy en consideración el no establecer del todo la colección genética procedente de zona norte en sitios clase II-III para producción de melina.

En el Cuadro 6 se presenta mayor detalle del comportamiento de la colección genética procedente de zona norte, en ambos sitios, para los parámetros evaluados.

Se registraron diferencias significativas en las tres variables analizadas sobre el desarrollo del conjunto

clonal zona norte, creciendo en ambos sitios. Los valores promedio obtenidos en los tres parámetros se pueden separar por sitio en dos bloques totalmente.

En párrafos anteriores se denotó una sensibilidad del material procedencia zona sur hacia sitios clase II-III de producción de melina; sin embargo, en el conjunto clonal zona norte dicha sensibilidad es aún mayor y más definida. Para las tres variables presentadas en el Cuadro 6 el desarrollo de los clones de dicha colección genética establecidos en Finca Puntarenas es superior a los establecidos en Finca La Amapola, todos los clones establecidos en el primer sitio tuvieron promedios para las tres variables superiores a la media general de hasta un 93 %, como en el caso del volumen comercial de calidad, mientras que la evaluación de dicho parámetro registró valores inferiores de hasta 74 % al promedio general en Finca La Amapola. Dicha sensibilidad del comportamiento entre sitios para la melina también fue reportada por Osorio (2004), en cuyo caso las principales diferencias entre sitios eran dos regímenes de precipitaciones y tres diferentes tipos de suelo.

El desarrollo del conjunto clonal zona norte en Finca La Amapola fue muy pobre para las tres variables. La condición de sitio clase II-III debido a malas condiciones para el drenaje natural (Byron, 2004, Mariño, 2006) y pobre estructura, como medida indirecta de la capacidad de retención, infiltración y percolación del agua (Byron, 2004), presentes en dicho sitio no le permitieron a los clones expresar su potencial fenotípico, por lo que no es recomendable utilizar dichos resultados para seleccionar genotipos que pudieran continuar en el proceso de selección genética. Por su parte en las condiciones clase I, con buen drenaje y una estructura franco arcillosa en Finca Puntarenas, igual a lo reportado por Henri (2001) y Byron (2004), le permitieron a los clones, principalmente del conjunto clonal zona sur, expresar diferencias en su crecimiento principalmente en la variable volumen comercial de calidad, lo que sirve para tomar decisiones de selección genética.

Estos resultados indican categóricamente que la colección de clones de zona norte no debería, bajo ninguna circunstancia, ser tomada en cuenta para establecer plantaciones comerciales en sitios clase II-III que presenten problemas de encharcamiento por exceso de agua, condiciones físicas adversas del suelo y malas condiciones de drenaje natural.

En el Cuadro 7 se muestra la posición que presenta el desarrollo de los clones del conjunto clonal zona norte creciendo en cada uno de los sitios de estudio, y la variación entre ellos.

El material genético evaluado de la procedencia zona norte registró promedios muy superiores en Finca Puntarenas (clase I producción melina), para ambos

Cuadro 5. Comparación del DAP, altura comercial, volumen comercial, calidad y volumen comercial de calidad para la procedencia zona norte en ambos sitios del Pacífico Sur de Costa Rica.

Table 5. Comparison of DBH, commercial height, commercial volume, quality and volume of quality for the north zone provenance at two sites in the South Pacific of Costa Rica.

Sitio	Diámetro altura pecho (cm)		Altura comercial (m)		Volumen comercial (m ³ árbol ⁻¹)		Calidad (%)		Volumen de calidad (m ³ árbol ⁻¹)	
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE
Finca Puntarenas	17,20 a (+7%)	0,190	9,96 a (+43%)	0,110	0,23 a (+64%)	0,005	78,94 a (230%)	1,410	0,18 a (350%)	0,004
Finca La Amapola	16,10 b	0,150	6,94 b	0,080	0,14 b	0,004	23,94 b	1,080	0,04 b	0,003

Cuadro 6. Comparación del volumen comercial, la calidad y volumen comercial de calidad para el conjunto clonal zona norte en ambos sitios de estudio del Pacífico Sur de Costa Rica.

Table 6. Position of north zone provenance clones by phenotypic performance in terms of commercial volume, quality and commercial quality volume at two sites in the South Pacific of Costa Rica.

Clon	Volumen comercial (m ³ árbol ⁻¹)		Clon	Calidad (%)		Clon	Volumen comercial de calidad (m ³ árbol ⁻¹)	
	Media	Ganancia		Media	Ganancia		Media	Ganancia
11FP	0,1852 a	45,4%	26FP	86,94 a	65,2%	22FP	0,1533 a	101,1%
22FP	0,1700 a	33,4%	11FP	83,95 a	59,5%	11FP	0,1439 ab	88,8%
9FP	0,1603 ab	25,8%	22FP	81,11 a	54,1%	16FP	0,1373 abc	80,1%
16FP	0,1574 ab	23,5%	14FP	80,80 a	53,5%	4FP	0,1231 abc	61,5%
4FP	0,1572 ab	23,4%	5FP	79,49 a	51,5%	1FP	0,1211 abc	58,9%
1FP	0,1536 ab	20,6%	4FP	79,00 a	50,1%	14FP	0,1191 abc	56,3%
14FP	0,1509 abc	18,4%	1FP	77,41 a	47,1%	5FP	0,1191 abc	56,3%
7FP	0,1505 abc	18,1%	10FP	77,36 a	47,0%	15FP	0,1142 abc	49,8%
15FP	0,1490 abc	17,0%	7FP	76,99 a	46,3%	2FP	0,1138 abc	49,3%
5FP	0,1472 abc	15,5%	15FP	76,44 a	45,3%	7FP	0,1133 abc	48,7%
2FP	0,1457 abcd	14,4%	2FP	75,00 a	42,5%	9FP	0,1127 bc	47,9%
10FP	0,1244 bcde	-2,4%	9FP	71,60 a	36,1%	10FP	0,0989 c	29,8%
5AMA	0,1090 cde	-14,4%	5AMA	31,68 b	-39,8%	5AMA	0,0356 d	-53,3%
1AMA	0,1037 de	-18,6%	16AMA	30,57 b	-41,9%	16AMA	0,0286 d	-62,5%
7AMA	0,1037 de	-18,6%	11AMA	26,98 b	-48,7%	1AMA	0,0286 d	-62,5%
4AMA	0,1025 de	-19,5%	9AMA	25,92 b	-50,7%	9AMA	0,0280 d	-63,3%
10AMA	0,0998 e	-21,7%	2AMA	25,81 b	-51,0%	4AMA	0,0272 d	-64,3%
2AMA	0,0989 e	-22,4%	15AMA	24,45 b	-53,5%	2AMA	0,0256 d	-66,4%
9AMA	0,0985 e	-22,7%	1AMA	23,26 b	-55,8%	15AMA	0,0248 d	-67,5%
16AMA	0,0974 e	-23,6%	4AMA	21,23 b	-59,7%	11AMA	0,0248 d	-67,5%
15AMA	0,0908 e	-28,7%	7AMA	18,83 b	-64,2%	7AMA	0,0234 d	-69,3%
11AMA	0,0908 e	-28,7%	14AMA	17,82 b	-66,1%	10AMA	0,0196 d	-74,3%
14AMA	0,0838 e	-34,2%	10AMA	17,68 b	-66,4%	14AMA	0,0170 d	-77,7%
	0,1274			52,62			0,0762	

parámetros evaluados. Al comparar entre sitios la procedencia zona norte no se registraron patrones regulares en su comportamiento, en cuanto a las variables calidad y volumen comercial de calidad. Los clones 11 y 16 fueron la excepción en la variable calidad, ambos se mantuvieron en las tres primeras posiciones en ambos sitios. De igual manera el clon 16 se mantuvo en las primeras posiciones en ambos sitios, mostrando

estabilidad en su comportamiento tanto en sitios clase I como clase II-III en cuanto al volumen comercial de calidad. El clon 5 pasó de estar ubicado en posiciones intermedias del listado completo de clones, en Finca Puntarenas con 79 % de calidad, a la primera posición en Finca La Amapola con tan sólo 31 %, expresando en sitios clase II-III menos de la mitad del potencial de calidad registrado en sitios clase I.

Cuadro 7. Posición de cada clon procedente de zona norte en ambos sitios evaluados para las variables calidad y volumen comercial de calidad en el Pacífico Sur de Costa Rica.

Table 7. Position of each clone from north zone at both sites evaluated for quality and quality trade volume variables in the South Pacific of Costa Rica.

Calidad (%)		Volumen de calidad (m ³ árbol ⁻¹)	
Finca Puntarenas Clon (Promedio)	La Amapola Clon (Promedio)	Finca Puntarenas Clon (Promedio)	La Amapola Clon (Promedio)
16 (86)	5 (31)	11 (0,15)	5 (0,04)
11 (84)	16 (30)	22 (0,15)	16 (0,03)
14 (81)	11 (27)	16 (0,14)	1 (0,03)
22 (80)	2 (26)	4 (0,12)	4 (0,03)
4 (79)	9 (25)	1 (0,12)	2 (0,03)
5 (79)	15 (25)	14 (0,12)	9 (0,03)
1 (77)	1 (24)	5 (0,12)	15 (0,03)
10 (77)	4 (22)	15 (0,12)	11 (0,03)
7 (77)	7 (19)	9 (0,12)	7 (0,02)
15 (77)	14 (18)	7 (0,11)	10 (0,02)
2 (74)	10 (18)	2 (0,11)	14 (0,02)
9 (72)	22 (-)	10 (0,10)	22 (-)

Las condiciones presentes en Finca La Amapola afectaron el desarrollo de la colección genética zona norte al punto que resulta difícil determinar grupos de clones con claridad, de acuerdo al comportamiento de las dos variables estudiadas (Cuadro 7). Dicha afectación se aprecia claramente en la variable volumen comercial de calidad para los dos clones en las posiciones 1 y 2, al descender el primero por debajo de la mitad de la lista y el segundo hasta desaparecer del todo por un 100% de mortalidad del mismo en Finca La Amapola. Lauridsen y Kjaer (2002), Dvorak (2003), Osorio (2004) e Indira (2006) apuntan que la variación fenotípica y genotípica, así como la heredabilidad y el comportamiento sitio-específico de la melina para cada parámetro, varían mucho de un sitio a otro; lo que apoya la explicación del comportamiento obtenido en ésta investigación, de ambos conjuntos clonales, cuando se realizan comparaciones entre sitios.

Se debe ser muy cuidadoso al recomendar materiales genéticos para sitios específicos, si no se cuenta con información previa sobre su desarrollo al menos en condiciones similares, especialmente para bloques pequeños de plantación con pequeños productores.

Conclusiones

Se registraron diferencias estadísticamente significativas para la procedencia zona sur, entre los sitios evaluados, en cuanto a DAP, altura comercial, calidad y volumen comercial de calidad. Situación contraria se registró para el volumen comercial.

La expresión del potencial de la calidad del conjunto clonal zona sur es muy susceptible a las condiciones del

sitio, al no expresar ni la mitad de su potencial en sitios clase II - III respecto de los sitios clase I.

En Finca Puntarenas el clon 23 de zona sur registró un valor promedio de calidad de 96%, pero al evaluarlo en Finca La Amapola dicho valor disminuyó hasta 38%.

El clon 12 de zona sur cayó de la primera posición en Finca Puntarenas a la última en Finca La Amapola, en cuanto a la variable calidad, con una diferencia de 131 % entre los sitios evaluados.

El clon 17 se mantuvo en las dos primeras posiciones en ambos sitios, y es el único que no presentó un cambio abrupto en su posición de un sitio al otro. Se debe tomar como el primer candidato en la selección de los mejores clones para continuar con el proceso de depuración de la base genética.

En Finca Puntarenas, los clones 17, 12 y 16 del conjunto genético de la zona sur registraron los valores más altos en cuanto a calidad y volumen comercial. El clon 1 presentó el menor valor de volumen comercial.

El conjunto clonal procedente de la zona norte registró valores superiores en cuanto a volumen comercial, calidad y volumen comercial de calidad en Finca Puntarenas con respecto a los registrados en Finca La Amapola.

El conjunto clonal de la zona norte expresó mayor sensibilidad a las condiciones de sitio que el de la zona sur. El clon 11 de zona norte ocupó el primer lugar en cuanto al volumen comercial de calidad en Finca Puntarenas y descendió por debajo de la mitad en Finca La Amapola; para la misma variable el clon 22 pasó del

segundo lugar en Finca Puntarenas hasta desaparecer por un 100% de mortalidad en Finca La Amapola.

La colección de clones de zona norte no debería ser tomada en cuenta para establecer plantaciones comerciales en sitios clase II-III, catalogados así debido a problemas de encharcamiento por exceso de agua o malas condiciones de drenaje natural, así como condiciones físicas adversas del suelo.

Es recomendable validar el desempeño de los genotipos evaluados en otros sitios catalogados como clase II-III pero por distintos motivos, ya que las condiciones particulares de Finca La Amapola “confunden” los resultados obtenidos.

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

- Alfaro, M. (2000). Melina: la madera del futuro. *Revista Forestal Centroamericana*, 29: 34-38 pp.
- 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 pp.
- Barrantes, A. y Salazar, G. (2005). *El uso de la madera en el 2004, impactos socioeconómicos y principales tendencias*. San José, Costa Rica: ONF-FONAFIFO.
- Barrantes, A., Paniagua, R. y Salazar, G. (2011). *Usos y portes de la madera en Costa Rica: Estadísticas 2010*. San José, Costa Rica: ONF.
- Byron, J. (2004). Growth potential of *Gmelina arborea* at 3 years of age in Colombia. *New Forest*, 28: 269-276 pp.
- 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). CATIE: Turrialba, Costa Rica.
- Cornelius, J. (1994). The effectiveness of plus-tree selection for yield. *Forest Ecology and Management*, 67: 23-34 pp.
- 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): 9 p.
- Corpuz, O. (2011). Growth and heritability of three year old *Gmelina* plantation. National Research and Development Conference: Philippines. 13 p.
- Dvorak W. (2003). World view of *Gmelina arborea*: opportunities and challenges. In: Dvorak, W.S., Hodge, G.R., Woodbridge, W.C. & Romero, J.L. (Ed), *Recent Advances with Gmelina arborea*. CD-ROM. North Carolina, USA: CAMCORE, North Carolina State University, Raleigh.
- Dvorak, W. (2004). World view of *Gmelina arborea*: opportunities and challenges. *New Forest*, 28: 111-126 pp.
- Espinoza, J. (2004). Site selection, site preparation, and weed control for *Gmelina arborea* in western Venezuela. *New Forest*, 28: 217-226 pp.
- FONAFIFO. (2010). *Estadísticas de PSA obtenidas desde 1998-2008*. (Información sin publicar). San José, Costa Rica.
- Greaves, A. (1981). *Gmelina arborea*: Annotated bibliography. Oxford, England: US-CAB.
- Henri, C. (2001). Soil - site productivity of *Gmelina arborea*, *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis* forest plantations in western Venezuela. *Forest Ecology and Management*, 144: 255-264 pp.
- Hodge, G. & Dvorak, W. (2004). The CAMCORE international provenance / progeny trials of *Gmelina arborea*: genetic parameters and potential gain. *New Forest*, 28: 147-166 pp.
- Indira, E. (2006). Provenance variations in *Gmelina arborea* with particular reference to tree form. *Journal of Tropical Forest Science*, 18(1): 36-50 pp.
- Kumar, A. (2007). Growth performance and variability in different clones of *Gmelina arborea* (Roxb.). *Silvae Genetica*, 56: 32-36 pp.
- 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): 15 p.
- Lauridsen, E. (2004). Features of some provenances in an international provenance experiment of *Gmelina arborea*. *New Forest*, 28: 127-145 pp.
- 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: Bogotá, Colombia.
- 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). Universidad Nacional: Heredia, Costa Rica.
- Murillo, O. y Badilla, Y. (2010). *Calidad de la plantación forestal*. (Información sin publicar). Instituto Tecnológico de Costa Rica: Cartago, Costa Rica.
- Murillo, O. y Guevara, V. (2013). Estado y manejo sostenible de los recursos genéticos forestales. (pp 66-75). En: *Estado de los recursos genéticos forestales de Costa Rica*. San José, Costa Rica: MINAET / FAO / CONAGEBIO.

- Murillo, O. y Valerio, J. (1991). Melina (*Gmelina arborea*) especie de árbol de uso múltiple en América Central. Colección de Guías Silviculturales. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Murillo, R. y Ávila, C. (2011). Informe final del proyecto Mejoramiento de la capacidad productiva de pequeños y medianos reforestadores de la Zona Sur. 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.
- ONF. (2004). *Uso y aportes de la Madera en Costa Rica: Estadísticas 2004*. San José, Costa Rica: ONF.
- Osorio, L. (2004). Provenance results of *Gmelina arborea* in southwest Colombia at three years of age. *New Forest*, 28: 179-185 pp.
- Padua, F. (2003). Clonal correlation in growth and stem quality of *Gmelina arborea*. In: XII World Forestry Congress. Québec City, Canada, 21 - 28 de setiembre, 2013. Retrived from <http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/0022-B4.HTM>.
- 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: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Rojas, F. y Murillo, O. (2004). Botánica y ecología. En: *Manual para productores de melina (Gmelina arborea) en Costa Rica*. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Salas, R. (2012). *Evaluación de un ensayo genético de Gmelina arborea en Siquirres, Limón*. (Tesis de licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica: Cartago, Costa Rica.
- Sánchez, L. & Romero, J. (2004). Plantations of *Gmelina arborea* in southern Mexico. *New Forest*, (28), 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), 173-179.
- SAS Institute. (2012). SAS/STAT 9.2: User guide. Second edition. SAS Institute Inc. Cary, N.C., USA. 7820 p.
- Tawara, C. (1996). *Variacao clonal de melina (G. arborea Roxb) na Costa Rica*. (Tesis de maestría). CATIE: Turrialba, Costa Rica.
- Ugalde, L. (1997). *Resultados de 10 años de investigación silvicultural del proyecto MADELEÑA en Costa Rica*. (Serie técnica. Informe técnico 290). Turrialba, CATIE: Costa Rica.
- Vanegas, E. (2011). *Evaluación del efecto del sitio y aplicación de prácticas silviculturales en el crecimiento de rodales y calidad de la madera proveniente de plantaciones de palo blanco (Roseodendron donnel-smithi) y matilisguate (Tabebuia rosea) en Guatemala*. (Informe final Proyecto FODECYT No. 015-2008). Facultad de Agronomía, Universidad San Carlos. Guatemala.
- Vázquez W. y Ugalde, L. (1995). *Rendimiento y calidad de sitio para Gmelina arborea, Tectona grandis, Bombacopsis quinata y Pinus caribaea, en Guanacaste, Costa Rica*. CATIE: Turrialba, Costa Rica.
- Wee, A., Li, C. & Dvorak, W. (2012). Genetic diversity in natural populations of *Gmelina arborea*: implications for breeding and conservation. *New Forests*, 43: 411-428 pp.
- 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 S.A. Departamento de Investigación y Desarrollo. Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica. Reporte 24.95. 4p.