

GANANCIA GENÉTICA ESPERADA EN MELINA (*Gmelina arborea* Roxb.) EN CÓRDOBA (COLOMBIA)¹

Miguel Espitia², Olman Murillo^{3*} e Carlos Castillo²

¹ Recebido em 07.01.2013 aceito para publicação em 21.10.2015.

² Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería agronómica y Desarrollo Rural, Montería, - Colombia. <mespitia@sinu.unicordoba.edu.co> y <carloscastillo1232@hotmail.com>.

³ Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago - Costa Rica. <olmuga@yahoo.es>.

*Autor para correspondência.

RESUMEN – El Departamento de Córdoba (Colombia) planea plantar 200000 ha para el 2025 y *Gmelina arborea* es una de las opciones dada su alta producción de biomasa en turnos cortos. El objetivo del estudio fue estimar el potencial de mejoramiento genético basado en la selección fenotípica de árboles plus en Córdoba y Magdalena. La selección se basó en la evaluación y comparación de cada árbol candidato con sus cuatro mejores vecinos en un radio de 20m, con base en su DAP, altura comercial, volumen comercial y, calidad del fuste basada en la calificación de sus primeras cuatro trozas de 2,5 m de largo. Los árboles plus se clasificaron como A cuando superaron tanto en volumen como en calidad a todos sus vecinos y, como B cuando solamente superaron en volumen o en calidad a sus vecinos. La ganancia genética se estimó para cada carácter mediante el producto de su diferencial de selección por un valor de heredabilidad esperable para *G. arborea* según literatura, tanto si se clonan (H^2), como si se toma su semilla para plantar (h^2). Se construyó un índice de selección que integró el volumen (60%) con la calidad (40%). De 57 árboles seleccionados, 35 fueron clasificados como plus A, que si se clonaran se estima se obtendrían ganancias genéticas de 5, 15, 36 y 34%, para el diámetro, altura comercial, volumen comercial y calidad del fuste, respectivamente. Los resultados sugieren un progreso genético importante con *G. arborea* en Córdoba, Colombia. Es necesario ampliar la base genética y comprobar estas estimaciones mediante ensayos genéticos.

Palabras-claves: *Gmelina arborea*; Selección fenotípica; Mejoramiento genético.

GANHO GENÉTICO ESPERADO PARA MELINA (*Gmelina arborea* Roxb.) EM CORDOBA (COLÔMBIA)

RESUMO – O Departamento de Córdoba (Colômbia) pretende plantar 200 mil hectares de *Gmelina arborea* até 2025, sendo essa espécie uma das opções dada a sua elevada produção de biomassa em ciclos curtos. O objetivo deste estudo foi estimar o potencial do melhoramento genético com base na seleção fenotípica das árvores superiores (plus) em Córdoba e Magdalena. A seleção foi baseada na avaliação e comparação de cada árvore candidata com seus quatro melhores vizinhos dentro de um raio de 20 m, com base em seu DAP, altura comercial, volume comercial e qualidade do tronco, com base em suas quatro primeiras toras de 2,5 m de comprimento. As árvores foram classificadas como superiores A, quando superaram tanto em volume quanto em qualidade todos os seus vizinhos; e como B, quando apenas superaram em volume ou em qualidade os vizinhos. O ganho genético foi estimado para cada variável, mediante o produto da seleção diferencial com a herdabilidade esperada para *G. arborea*, segundo a literatura, seja clonada (H^2), seja através da utilização de sua semente sexual (h^2). Construiu-se um índice de seleção que integrou o volume (60%) com a qualidade (40%). Das 57 árvores selecionadas, 35 foram classificadas como superiores A,

que se clonadas a estimativa de ganhos genéticos seria de 5, 15, 36 e 34% para o diâmetro, altura comercial, volume comercial e qualidade do tronco, respectivamente. Os resultados indicaram um progresso genético significativo com a *G. arborea* em Córdoba, na Colômbia. É necessário ampliar a base genética e verificar essas estimativas por testes genéticos.

Palavras-chave: *Gmelina arborea*; Seleção fenotípica; Melhoramento genético.

1. INTRODUCCIÓN

Colombia cuenta con 25 millones de hectáreas aproximadamente con aptitud forestal, de las cuales el departamento de Córdoba posee cerca de 900000 (CONIF, 2003; MADR, 2005; RINCÓN, 2009). En Córdoba se estima existen 15000 ha de plantaciones forestales, *Tectona grandis* con un 25%, *Acacia mangium* un 25% y *Gmelina arborea* Roxb. (melina) con un 5% (RINCÓN, 2009) y, en los próximos 25 años se espera plantar 200000 ha (CADENA FORESTAL DE CÓRDOBA, 2000; CONIF, 2003). Sin embargo, para convertir la actividad forestal en una inversión rentable y segura, es necesario utilizar semilla mejorada y desarrollar una silvicultura intensiva que conduzcan a la obtención de materia prima de la más alta calidad, con el menor costo posible (ALFARO; VILLAMIZAR, 1998; MURILLO; BADILLA, 2004).

A inicios de los años 90, se iniciaron programas de mejoramiento genético con melina en Costa Rica y Guatemala, donde se establecieron los primeros huertos semilleros en la región (MURILLO, 1992; ZEASER, 1998). En los últimos años se retomaron los programas y la estrategia cambió hacia silvicultura clonal (BADILLA; MURILLO, 2011). El desarrollo de tecnologías de propagación *in vivo* han permitido grandes progresos en el cultivo de eucaliptos, teca y melina en el mundo (MURILLO et al., 2003; XAVIER et al., 2009; BADILLA; MURILLO, 2011) y recién se inician en la costa caribe de Colombia (ESPITIA et al., 2011).

Con el fin de tener una estimación del potencial esperado de un programa de mejoramiento genético, Vallejos et al. (2010) utilizaron el diferencial de selección obtenido durante el proceso de selección de árboles plus de teca en Costa Rica. La comparación con los mejores vecinos generó un estimador del progreso esperado, principio que fue utilizado luego en teca y acacia en Córdoba, Colombia (ESPITIA et al., 2010; ESPITIA et al., 2011). La aplicación de un rigor alto en la selección de los árboles plus tendrá una alta correlación con la ganancia genética esperada (ZOBEL; TALBERT, 1984). El procedimiento permitió también separar desde el inicio del programa, cuáles individuos

componen la población comercial y cuáles la población de mejoramiento (VALLEJOS et al., 2010). Un experiencia similar fue desarrollada con clones de *Eucalyptus grandis* en Paraná, Brasil (SANTOS et al., 2006), donde se obtuvo una buena correlación entre la superioridad fenotípica de la altura total de los árboles seleccionados (en comparación con vecinos codominantes en un radio de 10 m), con el posterior desempeño de los materiales en los ensayos genéticos clonales. Resultados similares fueron reportados cuando se comparó la ganancia genética entre selección masal vs. diferentes opciones de selección con familias de medios hermanos de *Eucalyptus urograndis* en Brasil (FREITAS et al., 2009), donde en todos los casos se obtuvo progreso genético y variabilidad suficiente en todos los métodos de selección.

En programas de mejoramiento genético con melina en la India, se reporta que los árboles plus superaron en un 40% (altura total), 106% (altura comercial), 66% (DAP) a la población original (KUMAR; MATHAROO, 2003b). En el pacífico sur de Costa Rica, la selección de árboles plus de melina registraron un diferencial de selección sobre la población base, de 19,8; 54, y 54,4, para el DAP, volumen y calidad del fuste, respectivamente (MURILLO, 2011). Balcorta y Vargas (2004) reportaron en melina evaluada en México, valores de diferencial de selección de 40% para altura total y 40% para volumen comercial respectivamente.

En nivel clonal, se reporta en la India que la heredabilidad de la altura, diámetro basal y diámetro a la altura del pecho, registraron valores de 0,31, 0,44 y 0,37, respectivamente (KUMAR; MATHAROO, 2003a). Estos valores estuvieron asociados a ganancias de un 18, 25 y 30% para estos caracteres a los 2 años de edad. En relación con la edad de selección, Padua (2003) reporta que es posible seleccionar con base en la altura total a los 9 meses de edad (correlaciones desde 0,5 a 0,9 con el volumen total a los 6 años) en clones de melina en Filipinas. Sin embargo, algunos caracteres cualitativos como rectitud, bifurcaciones y otros, aún podrían no haberse expresado satisfactoriamente (OSORIO, 2003). Hodge y Dvorak

(2003) proponen que si los objetivos de producción con melina son para turnos de rotación de 5-6 años, entonces sería posible seleccionar a los 2 años, pero se debe aumentar a 3 años en caso de rotaciones de 10 años ó más. Con base en estos principios, se desarrolló este estudio en Córdoba, Colombia, con el objetivo de estimar el potencial de ganancia genética esperada como parte del desarrollo de un programa de mejoramiento genético con melina.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante los años 2008 al 2010, en plantaciones de siete a diez años de edad de melina en los departamentos de Córdoba y Magdalena (Colombia). La selección de los árboles plus se realizó con base en la metodología propuesta por Zobel y Talbert (1984 *apud* VALLEJOS et al., 2010). Los árboles fueron primero preseleccionados como candidatos y luego evaluados y verificados como superiores fenotípicamente, a partir de la comparación contra los mejores 4 vecinos en un radio de aproximadamente 20 m. La evaluación fenotípica de cada árbol se basó en los siguientes criterios, ausencia de gambas, rectitud del fuste en su zona comercial en una escala de 1 a 3 (1 sin torceduras y 3 fuste sin valor comercial), ausencia de nudos prominentes, presencia de ramas delgadas con ángulo de inserción de 45 a 90°, dominancia en altura, sanidad aparente del árbol en una escala de 1 a 3 (1 sano visiblemente y 3 árbol muy enfermo), diámetro a la altura del pecho (DAP), altura comercial (h_{COM}) o hasta el inicio de la copa, y finalmente calidad del fuste con base en la calificación en forma individual de las primeros cuatro trozas de 2,5 m de largo, basado en una escala de “1” a “4”, donde un valor de “1” es la mejor calidad posible y un valor de “4” se asignó para trozas sin valor como madera sólida (MURILLO; BADILLA, 2004). Los candidatos que lograron superar la fase de verificación se constituyeron en árboles plus, se georeferenciaron y conformaron la población base de mejoramiento.

El volumen comercial (Vol_{COM}) se estimó mediante la función:

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

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 de cada troza en el fuste se basó en los coeficientes propuestos por Murillo y Badilla (2004):

$$\text{Calidad del árbol} = \text{Troza1} * 0,4 + \text{Troza2} * 0,3 + \text{Troza3} * 0,2 + \text{Troza4} * 0,1 \quad (2)$$

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.

Los árboles plus se clasificaron en una lista A y B, donde la lista A incluyó los árboles plus que registraron superioridad tanto en Vol_{COM} como en calidad, con base en el diferencial de selección: $S = [(Y_{\text{árbol seleccionando}} - Y_{\text{árboles vecinos}}) / Y_{\text{árboles vecinos}}] * 100$

En la lista B se incluyeron los árboles plus que superaron solamente en Vol_{COM} ó en calidad a todos sus mejores vecinos. 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:

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

Con el fin de estimar una única ganancia genética para los árboles superiores tanto en volumen comercial como en calidad (lista A), se construyó una variable compuesta denominada Índice de Selección (IS), que integró el Vol_{COM} con la calidad así (MURILLO et al., 2004; VALLEJOS et al., 2010):

$$IS = 0,6 * \left[\frac{\text{Volumen Comercial} - \bar{x}}{ds} \right] + 0,4 * \left(\frac{\text{Calidad} - \bar{x}}{ds} \right)$$

en donde:

ds = desviación estándar de cada carácter.

Los coeficientes 0,6 (para Vol_{COM}) y 0,4 (para calidad), son el peso económico asignado a cada variable.

Con el fin de reducir un posible error debido a la diferencia en edad o calidad de sitio, los valores de ds y desviación estándar (ds) para la variable volumen comercial se calcularon para cada finca. La variable calidad no es dependiente de la edad, aún así ambos parámetros se calcularon para cada departamento.

Con los valores obtenidos del diferencial de selección (S) en los caracteres DAP, h_{COM} , calidad, volumen comercial e Índice de selección (IS), se determinó su valor promedio para cada plantación, para todos los árboles seleccionados y para únicamente los árboles seleccionados en la lista A (VALLEJOS et al., 2010; ESPITIA et al., 2011).

La ganancia genética (GG) se estimó en todos los caracteres evaluados a través de la siguiente ecuación (ZOBEL; TALBERT, 1984; CRUZ, 2005):

$$GG = S \cdot h^2 \quad (4)$$

donde "S" es el diferencial de selección y h^2 es la heredabilidad en sentido estricto promedio reportada para un grupo amplio de especies tropicales: $h^2_{\text{Diámetro}} = 0,20$; $h^2_{\text{Altura}} = 0,25$; $h^2_{\text{Volumen}} = 0,25$ y $h^2_{\text{Calidad}} = 0,35$ (CORNELIUS, 1994; KUMAR; MATHAROO, 2003a). Cuando se estimó la GG a partir de la clonación de los árboles plus, el valor de h^2 se incrementó en 0,05 para cada carácter, asumiendo que se captura el componente de varianza genético no aditivo (MURILLO; BADILLA, 2009).

Con base en el "IS" se obtuvieron los mejores árboles plus, tanto en volumen comercial como en calidad, los cuales pasan a constituir la subpoblación comercial (plus A) inicial. El resto de los árboles (plus B) forman parte de la población de mejoramiento e investigación. Todos los cálculos en este estudio se realizaron con ayuda de la hoja electrónica Excel.

3. RESULTADOS

3.1 Árboles plus seleccionados e intensidad de selección.

En la Tabela 1 se observa que el proceso de selección realizado permitió identificar un total de 57 árboles plus. El número de árboles seleccionados por finca osciló entre 21 y 36, sin embargo, en algunas fincas no se seleccionó ningún árbol plus. Como resultado se obtuvo una intensidad de selección por finca que osciló desde 1 árbol plus por cada 2600 individuos (en Kanguroid, Tierralta) hasta 1 árbol por cada 4600 (Hacienda La Gloria, Magdalena). Esto originó una intensidad de selección promedio de 1 árbol seleccionado por cada 4100 árboles evaluados (Tabela 1), que equivale aproximadamente a 1 árbol por cada 4,0 ha, lo cual

demuestra parte del rigor y exigencia en el proceso de selección.

De los 57 árboles seleccionados, 61% (35 árboles) fueron clasificados como plus A, ya que superaron a sus mejores vecinos en los dos criterios, volumen y calidad. Mientras que el 39% restante (22 árboles), superaron a sus mejores vecinos únicamente en volumen o en calidad (árboles Plus B). La intensidad de selección para los 35 árboles plus A fue de 1 cada 6350 árboles. Esta intensidad de selección fue más exigente que la reportada por Balcorta y Vargas en México (2004), con 1 árbol plus por cada 1111 individuos; pero inferior a la mencionada por Murillo y Badilla (2009) y Espitia et al. (2010 y 2011), quienes reportaron 1 árbol seleccionado por cada 15000 a 20000 individuos en *G. arborea*, 1 árbol plus por cada 10622 a 30538 individuos en *A. mangium* y 1 árbol por cada 20000 a 36193 individuos, en *T. grandis*, respectivamente. En estos casos la base de plantaciones existente fue superior, lo que permitió una mayor intensidad de selección.

3.2 Diferencial de selección, ganancia genética esperada e índice de selección.

En la Tabela 2 se observa que el diferencial de selección promedio (S) varió entre lotes (departamento) y entre los cuatro caracteres evaluados. Aún cuando el número de árboles seleccionado en cada departamento fue diferente, en Córdoba se obtuvieron los mayores diferenciales de selección para altura (h_{COM}) y volumen comercial (Vol_{COM}), con valores de 76 y 131%, respectivamente. Mientras que en Magdalena se obtuvieron las mayores estimaciones de diferencial de selección para diámetro a la altura del pecho (DAP) y en calidad del fuste, con valores de 12 y 78%, respectivamente. Entre los cuatro caracteres evaluados, el mayor diferencial de selección fue registrado en el Vol_{COM} , seguido por la calidad, h_{COM} y DAP, con valores promedios ponderados de 81, 71, 40 y 12%, respectivamente. Estos resultados son similares en

Tabla 1 – Árboles plus seleccionados e intensidad de selección en plantaciones de *Gmelina arborea* en los departamentos de Córdoba y Magdalena (Colombia).

Tabela 1 – Árvore plus selecionadas e intensidade de seleção em plantações de *Gmelina arborea* nos Departamentos de Córdoba e Magdalena (Colômbia), Município.

	Finca	Árboles plus seleccionados	Intensidad de selección (árboles)
Tierra Alta, Córdoba	3F Kanguroid	21	1 cada 2600
Zapayán, Magdalena	Hacienda La Gloria	36	1 cada 4600
Total plus A+B		57	1 cada 4100
Plus A		35	1 cada 6350

tendencia y magnitud a los estimados en *A. mangium* y *T. grandis* por Espitia et al. (2010 y 2011), pero superiores a los encontrados en melina por Kumar y Matharoo (2003a) y Balcorta y Vargas (2004), quienes reportaron valores de 40% para altura total y 40% para volumen comercial respectivamente.

La tendencia observada en el diferencial de selección, se mantiene en los cinco caracteres evaluados cuando sólo se consideran los 35 árboles plus A (Tabla 2). Los valores más altos se registraron en: Vol_{COM} (122%), calidad (76%), h_{COM} (51%) y DAP (20%). Estos resultados reflejan la superioridad genética potencial de los 35 árboles plus A, en comparación con todos los 57 árboles plus seleccionados (A+B), especialmente en Vol_{COM} (41% adicional) y h_{COM} (12% superior).

En relación con los índices de selección (IS = 0,6*Vol_{COM} + 0,4*Calidad) los mejores resultados se obtuvieron en las plantaciones de Kanguroid (Córdoba), con un valor de IS = 274% que supera en 200.% a las plantaciones de Zapayán, Magdalena (Tabla 3). Estos resultados explican que se haya seleccionado mayor cantidad de árboles plus en Córdoba, los cuales reúnen

las mejores características en crecimiento, volumen y calidad del fuste.

‘Al comparar los valores promedios para h_{COM} y calidad del fuste de los 35 árboles plus A, frente al grupo total de 228 mejores vecinos utilizados como testigos (Tabla 2), se estima un incremento de un 51 y un 76% en altura comercial (h_{COM}) y calidad, respectivamente.

En la Tabla 3 se presentan los escenarios de estimación de ganancia genética esperada (GG) en los cinco caracteres estudiados. Se muestra los resultados al utilizar los 57 árboles plus seleccionados (A+B), o si se utilizan solamente los 35 árboles plus A. Así también si se utiliza su semilla sexual o si se reproducen clonalmente para plantar. Los mayores niveles de ganancia genética esperada se obtuvieron con los caracteres calidad del fuste y volumen comercial (Vol_{COM}), que osciló desde 28% (plus A+B, semilla) hasta 34% (plus A, clon) en calidad del fuste. Mientras que para el Vol_{COM} los estimados variaron desde 20% (plus A+B, semilla) hasta 37% (plus A, clonados).

Tabla 2 – Diferencial de selección promedio (S) de los árboles plus de *Gmelina arborea* seleccionados en los departamentos de Córdoba y Magdalena (Colombia).

Tabela 2 – Diferencial de seleção médio (S) nas árvores plus de *Gmelina arborea* selecionados nos Departamentos de Córdoba e Magdalena (Colômbia).

Origen de los árboles	Árboles	S DAP (%)	S h _{COM} (%)	S Vol _{COM} (%)	S Calidad (%)	Índice de Selección (IS) (%)
Tierralta y Kanguroid (Córdoba)	21	11	76	131	59	274
Zapayán (Magdalena)	36	12	18	52	78	72
Promedio ponderado de todos los árboles plus de las dos regiones (A+B)	57	12	40	81	71	147
Promedio ponderado de los árboles Plus A de las dos regiones	35	20	51	122	76	197

Tabla 3 – Ganancia genética (GG) esperada (%) en *Gmelina arborea* según diferentes escenarios de tipo de árbol plus y tipo de reproducción (semilla o clonal), en Córdoba y Magdalena (Colombia).

Tabela 3 – Ganho genético (GG) esperado (%) em *Gmelina arborea* para diferentes cenários de tipo árvore plus e tipo de reprodução (semente ou clonal), em Córdoba e Magdalena (Colômbia).

Caracteres	A + B, semilla	A, semilla	A + B, clon	A, clon
DAP	2	4	3	5
h _{COM}	10	13	12	15
Vol _{COM}	20	30	24	37
Calidad	28	30	32	34
Índice de Selección (IS)	59	79	66	89

*Diámetro a la altura del pecho (DAP), altura comercial (h_{COM}), volumen comercial (Vol_{COM}), calidad del fuste en una escala de 0 a 100 e índice de selección (valores estandarizados del volumen comercial*0,6 + calidad*0,4).

*Diâmetro à altura do peito (DAP), altura comercial (h_{COM}), volume comercial (Vol_{COM}), qualidade do tronco em uma escala de 0 a 100 e índice de seleção (valores padronizados de 0.6 volume + *qualidade comercial* 0.4).

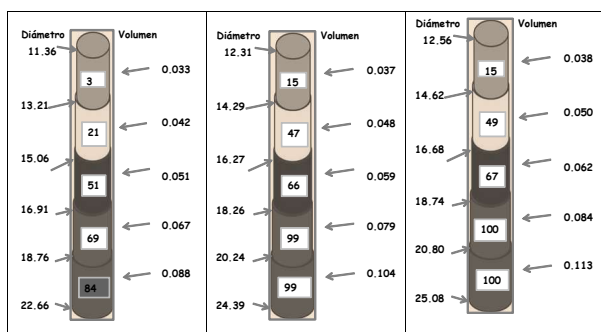


Figura 1 – Características del árbol tipo de *Gmelina arborea* en Córdoba y Magdalena, Colombia (izquierda), el árbol promedio de todos los plus A + B (centro) y, el árbol promedio de los árboles plus A (derecha). Cada troza es de 2,5m de longitud y su calidad aparece en una escala interna de 1 a 100; los diámetros (cm) aparecen al inicio y final de cada troza al lado izquierdo; el volumen (m³) aparece al lado derecho de cada troza.

Figura 1 – Características de árvore de valor médio de *Gmelina arborea* em Córdoba e Magdalena, Colômbia (à esquerda), média de todas as árvores plus A + B (centro) e árvore média plus A (direita). Cada tora é de 2,5 m de comprimento, e sua qualidade aparece numa escala interna de 1 a 100; diâmetros (cm) aparecem no início e no fim de cada tora, no lado esquerdo; o volume (m³) está no lado direito de cada tora.

En la figura 1 se muestra el árbol tipo de melina sin mejoramiento (izquierda), en contraste con el árbol plus (A+B) y el árbol plus A (centro y derecha respectivamente). Puede observarse una clara superioridad en todos los caracteres del árbol plus A con relación al árbol plus A+B y aún mayor, con respecto al árbol tipo. Este diferencial representa un progreso potencial significativo si se propagan los árboles plus A como material de plantación en Colombia. La figura 1 integra el volumen y la calidad y representa en resumen, el potencial de productividad y rendimiento esperado de cada uno de los tres tipos de árboles.

4. DISCUSIÓN

La variación en cuanto a la cantidad de árboles plus seleccionados se debe fundamentalmente a diferencias en el tamaño de las plantaciones y en la calidad de la semilla que dio origen a las plantaciones. Esto explica la razón de que en algunos lotes no se registró la selección de ningún árbol plus. La semilla que dio origen a las plantaciones de *G. arborea* en

Tierralta (Kanguroid) procede del huerto semillero Ston Forestal (en Costa Rica), donde hubo un proceso previo de mejoramiento genético. Lo cual explica la mayor cantidad de registros de árboles plus. Sin embargo, la intensidad de selección de este estudio superó a la recomendada por Zobel y Talbert (1984), quienes sugieren 1 árbol por cada 1000 para huertos semilleros.

4.1 Diferencial de selección, ganancia genética esperada e índice de selección.

Debe tener presente que los valores del diferencial de selección (S) podrían ser más bajos de lo real, debido a que cada árbol plus fue evaluado contra sus mejores cuatro vecinos. Podría pensarse entonces que estos vecinos son competidores muy fuertes e igualmente, constituyen parte de los mejores individuos de la población base (sin mejoramiento). Por lo tanto, el verdadero diferencial de selección podría ser inclusive aún mayor y superar significativamente a la población base (VALLEJOS et al., 2010). Los valores registrados son similares en tendencia y magnitud a los reportados en *A. mangium* y *T. grandis* en Colombia por Espitia et al. (2010 y 2011), pero superiores a los reportados por Badilla y Murillo (2011) y Vallejos et al. (2010) con *T. grandis* en Costa Rica, y a los reportados por Balcorta y Vargas con *G. arborea* en México (2004).

En relación con los índices de selección, tal y como se esperaba, existe una amplia superioridad en el índice de selección de los 35 árboles plus A (IS = 197%) con relación a los 57 árboles plus A + B seleccionados (IS = 146%), debido a que los árboles plus A superaron con mayor amplitud a sus mejores vecinos. Estos resultados superan a los encontrados en Córdoba por Espitia et al. (2010 y 2011) en selecciones de *A. mangium* y *T. grandis*, con valores de 126 y 38%, respectivamente.

En cuanto a la estimación de la ganancia genética (GG), los resultados obtenidos son similares o mayores a los reportados en Colombia por Espitia et al. (2010), quienes en *A. mangium* obtuvieron ganancias genéticas esperadas en árboles plus A de 22 y 48% en altura y volumen comercial, mientras que valores de 42 y 10% en volumen comercial y calidad del fuste en *T. grandis* respectivamente (ESPITIA et al., 2011). Trabajos similares en Costa Rica reportan ganancias genéticas en melina de 17 en altura y 43% en DAP (MESÉN, 2001), mientras que Cornelius y Hernández (1994) reportaron en melina valores de hasta 12% en rectitud del fuste. En la India, Kumar y Matharoo (2003a) reportaron con clones de

melina ganancias genéticas entre un 18%, 25 y 30% en altura total, diámetro basal y diámetro a la altura del pecho, respectivamente. Tal y como se esperaba, los estimados de ganancia genética del volumen comercial y calidad superaron ampliamente al del diámetro, debido a la mayor heredabilidad de este carácter (CORNELIUS, 1994). Estos resultados evidencian el riguroso proceso de selección realizado y permiten vaticinar un importante progreso genético.

El efecto del índice de selección muestra en la Tabela 3 una superioridad en los valores de ganancia genética esperada, que oscilaron desde un 59% (A+B semilla) hasta un 89% (A, clon). Estos valores prácticamente duplican la ganancia genética estimada en forma individual en los caracteres Vol_{COM} y calidad, ya que el índice utiliza los desvíos estandarizados de cada valor con respecto a su promedio, que produce un nuevo valor con menor sesgo y de mejor comparación.

Si se utilizara la semilla sexual de los mejores 35 árboles plus A (A, semilla), en Vol_{COM} se lograría un progreso genético adicional de 10 y de 2% en calidad, similares a los valores reportados por Espitia et al. (2010 y 2011) en *A. mangium* y *T. grandis* en Colombia. Mientras que si se clonaran los 35 árboles plus A (A, clon), se lograría un progreso genético adicional desde un 1% hasta un 6% para el DAP y el Vol_{COM} respectivamente (Tabela 3), explicado por la captura del 100% de la información genética de cada árbol plus (IPINZA, 1998; MURILLO; BADILLA, 2009). Si se utiliza la estrategia de clonación con estos árboles plus A, con base en el conocimiento de minijardines clonales desarrollado con *G. arborea* (MURILLO; BADILLA, 2009), en poco más de 1 año se podría iniciar con el establecimiento de plantaciones clonales comerciales con material de alto rendimiento en Córdoba. Mientras que si se utiliza la estrategia de semilla sexual (familias de polinización abierta), se requeriría de aproximadamente 4 a 5 años para poder obtener semilla mejorada en cantidad suficiente para abastecer la demanda. Estos niveles de progreso genético esperado, permiten adicionalmente, vaticinar una reducción del tiempo de cosecha en aproximadamente 1 año, si y solo si, se siguen los principios del manejo oportuno de la plantación (MURILLO; BADILLA, 2009).

Como estrategia de mejoramiento en el corto plazo, 20 de los 35 árboles plus A con el mayor diferencial de selección registrado constituirán en el plazo inmediato la población comercial a propagar. Todos los demás

árboles plus A y los 22 árboles plus B formarán parte de la población de mejoramiento y se mantendrán a la espera de los resultados de su evaluación genética (MURILLO; BADILLA, 2009; VALLEJOS et al., 2010).

Los 57 árboles plus no son suficientes para sustentar un programa de mejoramiento genético a largo plazo (ZOBEL; TALBERT, 1984). Se deberá por tanto emprender acciones para introducir materiales (procedencias) de origen asiático, así como procedente de organizaciones activas en mejoramiento genético de *G. arborea*.

5. CONCLUSIÓN

De los 57 árboles seleccionados de *G. arborea*, 35 (61%) fueron clasificados como plus A, con una intensidad de selección de 1 árbol plus cada 6350, que puede considerarse como suficiente para iniciar un buen programa de mejoramiento genético.

Al seleccionar y clonar los 35 mejores árboles plus A con base en el índice de selección (IS), se espera obtener ganancias genéticas de 5, 15, 36 y 34%, para los caracteres DAP, h_{COM} , Vol_{COM} y CALI, respectivamente, en Córdoba, Colombia.

Los 57 árboles plus localizados en el Departamento de Córdoba y Magdalena, constituyen una base genética pequeña e insuficiente para sustentar un programa de mejoramiento genético a largo plazo con esta especie. Es imprescindible realizar esfuerzos por introducir nuevas procedencias y realizar intercambio de germoplasma, con el fin de ampliar la base genética de este programa.

Es necesario comprobar este potencial de mejoramiento genético, mediante ensayos genéticos en varias zonas productoras de Córdoba. Si se considera que con un incremento del 4% por concepto de ganancia genética en volumen se cubren los costos de un programa de mejoramiento genético forestal (IPINZA, 1998), los resultados obtenidos en este estudio permiten estimar una alta rentabilidad en este programa de mejoramiento genético, que podría contribuir significativamente y en el corto plazo con la sostenibilidad y atracción de inversión en el negocio forestal en esta región de Colombia.

Se deberá emprender acciones lo antes posible, para introducir procedencias de origen asiático, así como de organizaciones activas en mejoramiento con *G. arborea*.

6. RECONOCIMIENTO

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, Universidad de Córdoba, Cadena Forestal de Córdoba, Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) y 3F Kanguroid, por la cofinanciación y apoyo logístico, para la realización del proyecto “Selección de árboles plus y creación de fuentes semilleras de teca (*Tectona grandis* L.), melina (*Gmelina arborea* Roxb.) y acacia (*Acacia mangium* Willd.) en el departamento de Córdoba”, de donde se originó esta publicación.

7. REFERENCIAS

- ALFARO, M.; VILLAMIZAR, M. Análisis de la oferta actual y la demanda potencial de semilla mejorada de *Tectona grandis* y *Gmelina arborea* en Costa Rica y Centroamérica. En: Seminario. Aumento de la rentabilidad de las plantaciones forestales: un reto ligado al uso de semilla de alta calidad. San José, Costa Rica, 19 de mayo de 1998. CD-ROM. **Seminario...** San José, Costa Rica, 1998.
- BADILLA, Y.; MURILLO, O. Avances en el mejoramiento genético de la teca en GENFORES, Costa Rica. En: Conferencia Forestal Internacional: Bosques plantados de teca. Teaknet. 31 octubre al 3 de noviembre, 2011. San José, Costa Rica. **Conferencia...** San José, Costa Rica: 2011.
- BALCORTA, H.; VARGAS, J. Variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de melina (*Gmelina arborea* Linn., Roxb.) de tres años de edad. **Revista Chapingo**, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, v.10, n.1, p.13-19, 2004.
- CADENA FORESTAL DE CÓRDOBA. **Acuerdo Regional de Competitividad para la Cadena Forestal en el Departamento de Córdoba**. 14p. 2000. http://www.conif.org.co/docs/acuerdo_reg_cordoba.doc. Accesado: 23 dez. 2009).
- CORPORACIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y FOMENTO FORESTAL – CONIF. **Cadena Forestal Productiva de Córdoba**. 2003. Folleto Núcleos Forestales. http://www.conif.org.co/docs/cadena_folleto_interior.pdf Accesado: 10 abr. 2009).
- CORNELIUS, J. The effectiveness of plus-tree selection for yield. **Forest Ecology and Management**, n.67, p.23-34, 1994.
- CORNELIUS, J.; HERNÁNDEZ, M. Variación genética en crecimiento y rectitud del fuste en *Gmelina arborea* en Costa Rica. **Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales**, 10: 9-12. 1994.
- CRUZ, C.D. **Principios de genética cuantitativa**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 394p.
- ESPITIA, M.; MURILLO, O.; CASTILLO, C. Ganancia genética esperada en la selección de teca (*Tectona grandis* L.) en Córdoba (Colombia). **Revista Colombia Forestal**, v.14, n.1, p.95-106, 2011.
- ESPITIA, M.; MURILLO, O.; CASTILLO, C.; ARAMÉNDIZ, H.; PATERNINA, N. Ganancia genética esperada en la selección de acacia (*Acacia mangium* WILLD) en Córdoba (Colombia). **Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica**, v.13, n.2, p.99-107, 2010.
- FREITAS, R.G.; VASCONCELOS, E.S.; CRUZ, C.D.; ROSADO, A.M.; ROCHA, R.B.; TAKAMI, L.K. Predição de ganhos genéticos em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urograndis* cultivadas em diferentes ambientes e submetidas a diferentes procedimentos de seleção. **Revista Árvore**, v.33, n.2, p.255-263, 2009.
- HODGE, G.R.; DVORAK, W.S. The CAMCORE International Provenance/Progeny Trials of *Gmelina arborea*: genetic parameters and potential gain. In: DVORAK, W.S.; HODGE, G.R.; WOODBRIDGE, W.C.; ROMERO J.L. (Ed.). **Recent advances with Gmelina arborea**. Raleigh: North Carolina State University, 2003. 20p. CD-ROM.
- IPINZA, R. **Mejoramiento genético forestal**. Programa CONIF-Ministerio de Agricultura sobre investigaciones en semillas de especies forestales nativas. Santa Fé de Bogotá, Colombia: INSEFOR, 1998. 162p. (Serie técnica, 42).
- KUMAR, A.; MATHAROO, A.K. Genetic improvement of *Gmelina arborea* in India. In:

DVORAK, W.S.; HODGE, G.R.; WOODBRIDGE, W.C.; ROMERO J.L. (Ed.). **Recent advances with Gmelina arborea**. Raleigh: North Carolina State University, 2003a. 221p. CD-ROM

KUMAR, A.; MATHAROO, A. K. Growth performance and variability in different clones of Gmelina arborea in India. In: DVORAK, W.S.; HODGE, G.R.; WOODBRIDGE, W.C.; ROMERO J.L. (Ed.). **Recent advances with Gmelina arborea**. Raleigh: North Carolina State University, 2003b.

COLOMBIA. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR. 2005.

Características y estructura del sector forestal-madera-muebles en Colombia, una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Observatorio Agrocadenas Colombia. 63p. (Documento de trabajo, 95)

MESÉN, F. Introducción al mejoramiento genético forestal. En: **Identificación, selección y manejo de fuentes semilleras**. Convenio CONIF, INSEFOR y MADR. Bogotá: 2001. 118p. (Serie técnica, 32)

MURILLO, O. Diseño de un huerto semillero de Gmelina arborea para la producción de semilla certificada en la zona norte de Costa Rica. **Tecnología en Marcha**, v.11, n.3, p.51-58 1992.

MURILLO, O. Estrategia de mejoramiento genético forestal para la Cooperativa GENFORES (Costa Rica). Conferencia magistral. En: CONGRESO NACIONAL DE FITOMEJORAMIENTO Y PRODUCCIÓN DE CULTIVOS", 12., Montería, Colombia, 2011. **Memorias en CD-ROM**. Montería, Colombia: 2011.

MURILLO, O.; BADILLA, Y. **Evaluación de la calidad y estimación del valor en pie de la plantación forestal**. Cartago, Costa Rica: Escuela de Ingeniería Forestal, 2004. 50p.

MURILLO, O.; BADILLA, Y. **Reproducción clonal de árboles**. Cartago, Costa Rica: Taller de Publicaciones, Instituto Tecnológico de Costa Rica, ITCR, 2009. 45p.

MURILLO, O.; ROJAS, J.L.; BADILLA, Y. **Reforestación clonal**. 2.ed. Taller de Publicaciones. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica: 2003. 36p.

MURILLO, O.; OBANDO, G.; BADILLA, Y.; ARAYA, E. GENFORES, a Costa Rican tree improvement and gene conservation cooperative. In: IUFRO Meeting. Forest Genetics and Genomics. Charleston, South Carolina: 2004. CD-ROM.

OSORIO, L.F. Provenance results of Gmelina arborea in southwest Colombia at three years of age. In: DVORAK, W.S.; HODGE, G.R.; WOODBRIDGE, W.C.; ROMERO J.L. (Ed.). **Recent advances with Gmelina arborea**. Raleigh: North Carolina State University, 2003.

PADUA, F. Juvenile selection of Gmelina arborea clones in the Philippines. In: DVORAK, W.S.; HODGE, G.R.; WOODBRIDGE, W.C.; ROMERO J.L. (Ed.). **Recent advances with Gmelina arborea**. Raleigh: North Carolina State University, 2003.

RINCÓN, M. **El sector forestal en Córdoba**: Cadena productiva forestal madera y muebles departamento de Córdoba. Informe Cadena Forestal de Córdoba, Febrero de 2009 37p. (Centro de Investigaciones Turipaná – Corpoica).

SANTOS, G.A.; XAVIER, A.; LEITE, H.G. Desempenho silvicultural de clones de Eucalyptus grandis em relação às árvores matrizes. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.737-747, 2006.

VALLEJOS, J.; BADILLA, Y.; PICADO, F.; MURILLO, O. Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. **Agronomía Costarricense**, v.33, n.1, p.105-119, 2010.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. **Silvicultura clonal**; princípios e técnicas. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 272p.

ZEASER, D. Programa de mejoramiento genético de la Ston Forestal en la zona sur de Costa Rica. En: SEMINARIO. Aumento de la rentabilidad de las plantaciones forestales: un reto ligado al uso

Revista Árvore, Viçosa-MG, v.40, n.1, p.71-80, 2016



de semilla de alta calidad. San José, Costa Rica. 19 de mayo de 1998. **Memorias de CD-ROM**. San José, Costa Rica: 1998.

ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 510p.