



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

TESIS DE LICENCIATURA

EVALUACION DE UN ENSAYO GENETICO DE *Gmelina arborea*

EN SIQUIRRES, LIMÓN

ROBERTO JAVIER SALAS GUEVARA

CARTAGO, 2012.

INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL



EVALUACION DE UN ENSAYO GENETICO DE *Gmelina arborea*

EN SIQUIRRES, LIMÓN

ROBERTO JAVIER SALAS GUEVARA

CARTAGO, 2012.

EVALUACION DE UN ENSAYO GENETICO DE *Gmelina arborea*

EN SIQUIRRES, LIMÓN

Tesis presentada a la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica
como requisito parcial para optar al título de Licenciatura en Ingeniería Forestal.

Ing. Olman Murillo Gamboa, Ph.D.

Profesor Guía

Ing. Jane Segleau Earle, M.Sc.

ASIREA

Ing. Yorleny Badilla Valverde, Lic.

Lectora

Ing. Gustavo Torres Córdoba, M.Sc.

Lector

EVALUACION DE UN ENSAYO GENETICO DE *Gmelina arborea*

EN SIQUIRRES, LIMÓN

Roberto Salas Guevara¹

RESUMEN

En este documento se conocerá el diseño de un ensayo clonal de melina, establecido en Junio de 2010 en Florida de Siquirres, Limón, Costa Rica (propiedad de Bienes J y J del Atlántico S.A) por ASIREA, organización miembro de la Cooperativa de Mejoramiento Genético de Costa Rica (GENFORES) del ITCR. El trabajo comprende la evaluación de 25 clones de melina a los 18 meses de edad, con base en caracteres cuantitativos y cualitativos. Luego de la aplicación del software SELEGEN análisis genéticos cuantitativos, se determinó que en volumen comercial, el mejor de los tratamientos fue el clon 58, mientras que el clon 20 se ubicó en la penúltima posición del ranking genético, superando al testigo, que consistió en semilla mejorada aportada por el CATIE. En la evaluación del carácter calidad el mejor de los tratamientos fue el clon 12 y, en la penúltima posición del ranking genético se ubicó el clon 26. De manera análoga como ocurrió con el volumen comercial, el testigo se volvió a ubicar en la última posición para el carácter calidad del árbol.

Palabras clave: ensayo clonal, mejoramiento genético forestal, silvicultura clonal, *Gmelina arborea*.

¹ Estudiante de Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Evaluation of a *Gmelina arborea* clonal test in Siquirres, Limón

Roberto Salas Guevara.

ABSTRACT

In this thesis work it will be presented the results of an evaluation of a melina clonal test, established in June 2010 in Florida, Siquirres, Limón, Costa Rica (property of Bienes J y J del Atlántico S.A.), by ASIREA, a NGO and active member of GENFORES (tree improvement cooperative of Costa Rica). The study comprehends the evaluation of 25 melina clones at 18 months of age, based on quantitative as well as qualitative traits. After the usage of SELEGEN software for quantitative genetics analysis, it was determined that in commercial volume, clone 58 was the best ranked, meanwhile, clone 20 was positioned in the second worst position, over the control entry (improved seed donated by CATIE). In the qualitative trait analysis, best ranked clone was 12 and clone 26 as the second worst, again, followed by the same control test seed produced in a seed orchard in CATIE, as the worst ranked material.

Keywords: clonal test, tree improvement, clonal silviculture, *Gmelina arborea*

AGRADECIMIENTOS

A ASIREA como organización por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo, y mis compañeros por su amistad y colaboración.

Al Dr. Olman Murillo y la Lic. Yorleny Badilla por su apoyo en este proyecto.

A la Ing. Jane Segleau Earle, M.Sc y al Ing. Gustavo Torres Córdoba, M.Sc por su apoyo como lectores.

A Jinny Ureña y José Coto, silvicultores propietarios de la finca donde se encuentra el ensayo de melina evaluado.

A los estudiantes de TCU de la UCR Lucieny Salinas, Vielka Picado e Ignacio Mora, por su asistencia en el trabajo de campo.

DEDICATORIA

A Dios por quien todo es posible.

A toda mi familia, muy en especial a mi hija Victoria.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
AGRADECIMIENTOS	vi
DEDICATORIA	vii
INTRODUCCION GENERAL	1
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
Diseño y ubicación del ensayo	2
Capítulo I	4
Evaluación de caracteres continuos en un ensayo clonal de <i>Gmelina arborea</i> Roxb. en Siquirres, Limón.	4
Resumen	5
Introducción	6
Metodología	7
Medición del ensayo	7
Resultados	9
Discusión	17
Conclusiones	20
Capítulo II	21
Evaluación de caracteres cualitativos en un ensayo clonal de <i>Gmelina arborea</i> Roxb. en Siquirres, Limón	21
Resumen	22
Introducción	23
Metodología	23
Resultados	30
Discusión	36
Conclusiones	38
Recomendaciones generales	39
Bibliografía	40
ANEXOS	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis de varianza fenotípica de caracteres continuos en un ensayo de evaluación de 25 clones de <i>Gmelina arborea</i> a los 18 meses de edad en Siquirres, Limón.....	9
Cuadro 2. Parámetros genéticos de caracteres cuantitativos obtenidos del análisis del ensayo clonal de melina a los 18 meses en Siquirres, Limón.....	10
Cuadro 3. Correlaciones genéticas entre caracteres evaluados en el ensayo clonal de melina a los 18 meses en Siquirres, Limón.	11
La figura 2 nos muestra en términos de desvíos del valor genético del volumen, la magnitud de la superioridad de los distintos clones en relación con los testigos y en relación con los clones de bajo rendimiento a esta edad de referencia.	13
Cuadro 4. Ranking genético del volumen comercial a los 18 meses, de 25 clones de melina evaluados en Siquirres, Limón.....	14
Cuadro 5: Relación del ranking genético del DAP vs área de copa en clones de melina evaluados a los 18 meses en Siquirres, Limón	16
Cuadro 6. Análisis de varianza fenotípica de caracteres cualitativos obtenidos del análisis del ensayo de evaluación de 25 clones de <i>Gmelina arborea</i> a los 18 meses de edad en Siquirres, Limón.....	30
Cuadro 7. Parámetros genéticos de caracteres cualitativos evaluados en el ensayo clonal de <i>Gmelina arborea</i> a los 18 meses de edad en Siquirres, Limón.	31
Cuadro 8. Correlaciones genéticas entre caracteres cualitativos evaluados en el ensayo clonal de <i>Gmelina arborea</i> a los 18 meses de edad, Siquirres, Limón.	32
Cuadro 9. Ranking genético de la calidad de clones de <i>Gmelina arborea</i> evaluados a los 18 meses de edad en Siquirres, Limón.	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Croquis georeferenciado del ensayo clonal de <i>Gmelina arborea</i> en Siquirres.	3
Figura 2. Daños sufridos por viento en el ensayo clonal de melina en Siquirres, Limón.	25
Figura 3. Bifurcaciones en genotipos de melina del ensayo clonal de melina en Siquirres, Limón.	25
Figura 4. Presencia de clorosis en el ensayo clonal de melina en Siquirres, Limón.	26
Figura 5. Ejemplo de una troza de calidad 3 (izq) por la presencia de gambas o aletones basales y, otra troza de calidad 1 (der) del ensayo clonal de melina de Siquirres, Limón.	27
Figura 6. Genotipos con rama gruesa en el ensayo de evaluación clonal de Siquirres, Limón	27
Figura 7. Ejemplo de árbol clonado de muy alta calidad dentro del ensayo genético.	28
Figura 8. Representación del árbol promedio de la plantación según su calidad en las primeras 5 trozas de 2,5m, (IZQUIERDA, promedio de todos los clones; CENTRO, testigo semilla rodal semillero; DERECHA, testigo semilla mejorada de huerto semillero), Valores de la columna izquierda corresponden al diámetro promedio (cm), Valores dentro de cada troza corresponden con su calidad, escala 1 a 100, Valores en la columna derecha corresponden con el volumen de cada troza (m ³).	34
Figura 9. Representación del árbol tipo si se seleccionaran los 10 mejores clones del ranking genético del caracter calidad. Valores de la columna izquierda corresponden al diámetro promedio (cm), Valores dentro de cada troza corresponden con su calidad, escala 1 a 100, Valores en la columna derecha corresponden con el volumen de cada troza (m ³).	35

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1. Diseño del ensayo clonal de melina de ASIREA Y Bienes J y J del Atlántico S,A, en Florida de Siquirres.	42
Anexos 2. Formulario de campo para la colecta de datos para la evaluación del ensayo clonal de melina.	43

INTRODUCCION GENERAL

En los últimos años la empresa privada forestal, los pequeños y medianos productores forestales y las organizaciones no gubernamentales en el sector, se han preocupado por posicionar la madera como un producto rentable y competitivo. A inicios de los años 90, algunas empresas reforestadoras de Costa Rica y Guatemala desarrollaron programas de mejoramiento genético a escala comercial, estableciendo los primeros huertos semilleros en la región (Murillo, 1992; Zeaser, 1998). Por otra parte el gobierno se ha fijado la meta de ser un país carbono neutral para el año 2021, para lo cual requiere entre otras cosas, de un sector forestal que apoye esta iniciativa para lograr el cometido. El mejoramiento genético forestal a demostrado que pueden lograrse aumentos de alrededor de un 20% adicional de volumen, aproximadamente un 25% de aumento en el número de árboles por hectárea de alta calidad maderable (Calidad 1 ó 2) (Murillo, O.2005). Y es por esta y muchas otras razones que una ONG como La Asociación para el Desarrollo Sostenible de la Región Atlántica (ASIREA), se ha dado a la tarea de invertir esfuerzos de diferente índole y ha establecido convenios con otras entidades para fortalecer el desarrollo forestal del caribe y Sarapiquí.

Siempre pensando en la competitividad del producto madera, ASIREA, en conjunto con GENFORES¹ y el Colegio Técnico Profesional de Pococí (CTPP), han trabajado fuertemente en mejoramiento genético forestal en todo su campo de acción, y lo dirige principalmente a sus beneficiarios en el marco de la gestión de Pago por Servicios Ambientales. De ahí la oportunidad de establecer ensayos genéticos forestales en Florida de Siquirres, que permitan validar en esa zona la calidad del material producido, uno de ellos es de melina (*Gmelina arborea*) que es la principal especie forestal producida por ASIREA, y así continuar con la investigación y fortalecimiento del sector forestal en el caribe y en el resto del país. En este estudio se presentan los primeros resultados del ensayo clonal de melina, en donde se determinan cuales son los genotipos con mejor y menor desempeño a los 18 meses en Florida de Siquirres.

¹Cooperativa de genética forestal creada por el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

OBJETIVO GENERAL

- Determinar los mejores clones de melina (*Gmelina arborea*) a los 18 meses de edad en el ensayo genético establecido por ASIREA en Florida de Siquirres.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar el desempeño juvenil en crecimiento de 25 clones de melina en Florida de Siquirres.
- Evaluar el desempeño juvenil cualitativo de 25 clones de melina en Florida de Siquirres.

Diseño y ubicación del ensayo

El ensayo evaluado se ubica en la provincia de Limón, cantón Siquirres, distrito Germania, caserío Florida, entre las coordenadas geográficas 582-583 y las 231-233 (Ver Figura 1). La finca es propiedad de Bienes J y J del Atlántico S.A, dentro de un proyecto de cultivo de madera en PSA y bajo la regencia de ASIREA.

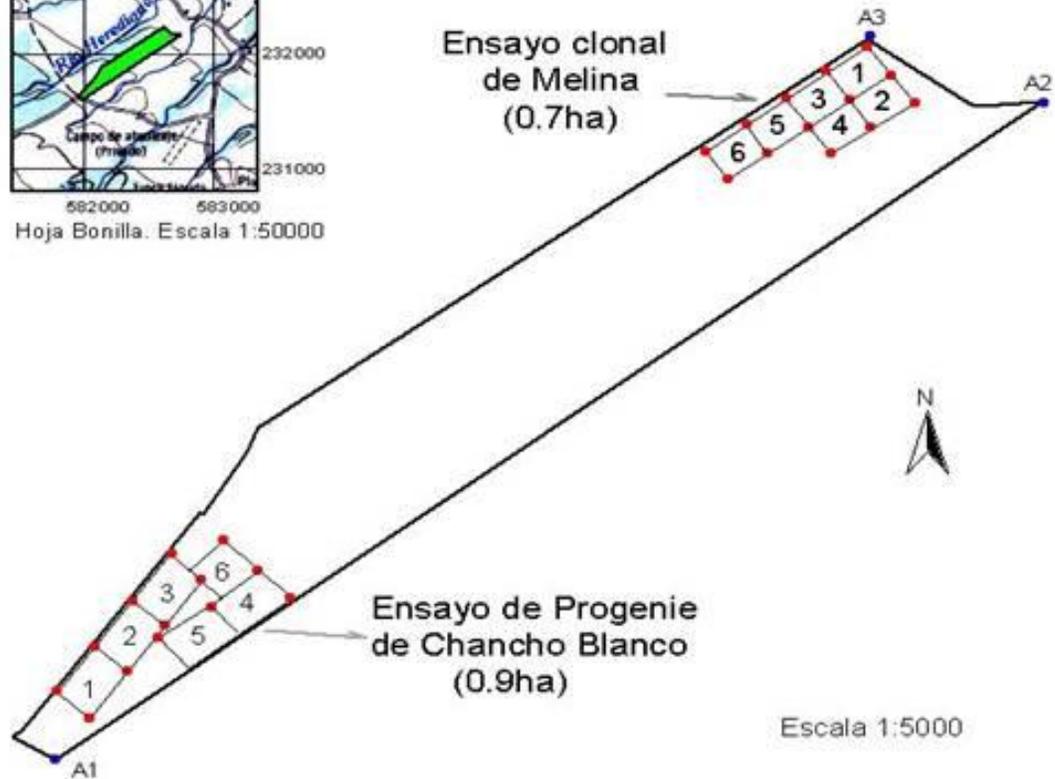
El ensayo clonal de melina se estableció bajo el diseño de bloques completos al azar. Consta de 25 tratamientos (clones) más dos materiales testigo o de control, que suman 27 tratamientos en total. El ensayo se conforma de 6 repeticiones (bloques), y dentro de cada repetición existen 6 individuos por tratamiento, distribuidos aleatoriamente en 3 parejas dentro de cada bloque, con la restricción de no quedar juntas dos parejas de un mismo tratamiento dentro de un mismo bloque. (Ver Anexo 1).

**Ensayos Genéticos Forestales
J y J del Atlántico S.A - ASIREA - GENFORES
Junio 2010**

Ubicación Cartográfica



Hoja Bonilla. Escala 1:50000



Escala 1:5000

Levantamiento poligonal abierta, errores no se calculan por método usado.

Levantamiento realizado con base en información del plano catastrado y levantamiento hecho con GPS Garmin 12XL, precisión +/-15m

Vértices georeferenciados		
Pto	Latitud	Longitud
A1	N10.10242	W83.58512
A2	N10.10757	W83.57817
A3	N10.10809	W83.57937

Propiedad de: Bienes J y J del Atlántico S.A Cédula jurídica: 3-101-266393	Ensayo de melina Gmelina arborea 25 clones 1 Testigo semilla mejorada (Huerto CATIE) 1 Testigo semilla comercial (Rodal semillero) Área 0.7ha	Ensayo de Chancho Blanco Vochysia guatemalensis 24 Familias 1 Testigo (Rodal semillero) Área: 0.9ha
Situado en: Provincia: Limón Cantón: Siquirres Distrito: Germania Caserío: Florida Área total: 10.3 ha		Roberto Salas Guevara ASIREA. CIA 6158

Figura 1. Croquis georeferenciado del ensayo clonal de *Gmelina arborea* en Siquirres, Limón.

Capítulo I.
Evaluación de caracteres continuos en un ensayo clonal de *Gmelina arborea* Roxb. en Siquirres, Limón.

Resumen

La Asociación para el Desarrollo Sostenible de la Región Atlántica (ASIREA), La Cooperativa de Genética Forestal (Genfores) y Bienes J y J del Atlántico S.A. establecieron un ensayo clonal de melina, en Florida de Siquirres en el año 2010, bajo el diseño de bloques completos al azar, con 25 tratamientos (clones) y dos materiales testigo, con 6 repeticiones (bloques), y 6 individuos por tratamiento, distribuidos aleatoriamente en 3 parejas dentro de cada bloque, con el objetivo de evaluar la adaptación y crecimiento en esas condiciones de sitio.

En el ensayo se evaluó las características cuantitativas como diámetro a altura de pecho (DAP), número de trozas comerciales, volumen comercial, número de ramas hasta 2,5m de altura, diámetros, área y simetría de copas a los 18 meses de edad, y se utilizó el software SELEGEN-REML/BLUP y el paquete estadístico SAS para analizar los datos. Los resultados fueron obtenidos mediante análisis de varianza fenotípica y de parámetros genéticos de caracteres cuantitativos, correlaciones y ranking genético de volumen comercial.

En cuanto al carácter cuantitativo de volumen comercial a los 18 meses, el clon 58 es el mejor en volumen comercial en todo el ensayo, el clon de menor volumen comercial evaluado en el ensayo es el 20, y tratamiento evaluado de menor volumen comercial en todo el ensayo es el testigo TC (testigo de semilla mejorada de huerto semillero).

Introducción

Es importante comprender, que en asuntos de producción, si las condiciones naturales y el manejo silvicultural es óptimo, se tiene un ambiente favorable para los resultados esperados, es decir un 50% del éxito en la producción bastante asegurado. La otra parte de ese éxito que se quiere, se obtiene al invertir en una buena calidad genética, y así entre ambos factores obtener la expresión de un fenotipo acorde a los objetivos del proyecto.

En la caso de la madera, el sector comercial sigue teniendo mayor atracción por lo que es producir más al menor costo y tiempo posible, y de ahí la importancia que tiene conocer las características cuantitativas del material genético con el cual se trabaja, y poder proyectar volúmenes de madera a obtener en un proyecto.

Por eso en este proyecto se analizan las variables cuantitativas de los clones que utiliza ASIREA al cultivar madera, y se espera poder repetir a futuro ensayos como este, para afinar la producción hasta obtener los máximos volúmenes de madera según el sitio donde se desempeñen los clones.

Metodología

Medición del ensayo

En la recopilación de los datos de campo, se mantuvo siempre la identificación de los datos por bloque, clon o testigo, y número dentro de la pareja (1 ó 2).

Codificación de los tratamientos: se anotó el número respectivo de clon, TC para el testigo de semilla proveniente del CATIE y T para el testigo de semilla de rodal semillero de Hojanca, Guanacaste.

Para la evaluación del ensayo de melina se utilizó un formulario con dieciséis variables a anotar, medir o estimar según el caso (ver Anexo 2).

La evaluación de calidad del ensayo se hizo tomando en cuenta variables cuantitativas y cualitativas, las cuales se describen a continuación.

Dichas variables fueron: diámetro a altura de pecho (DAP), altura total (h) en metros, cantidad de ramas en la primer troza, diámetro de copa 1 y diámetro de copa 2.

Número de árbol dentro de la pareja: se refiere a si es el árbol número 1 ó 2 dentro de cada par de individuos de un mismo tratamiento, importante para reconocer su posición en campo luego de los análisis estadísticos.

Las variables cuantitativas utilizadas para el desarrollo de este capítulo fueron:

DAP: diámetro a altura de pecho (1,3m desde el suelo)

Altura (h): Se midió la primera troza de 2,5 m en pie, y se proyectaron las otras trozas más el excedente hasta el ápice, para determinar la altura total en metros.

Cantidad de ramas en la primera troza: contadas hasta 2,52m de altura en el fuste, tomando en cuenta ramas ó nudos presentes que evidencien la existencia pasada de una rama.

Diámetro de copa 1 y 2: proyección del diámetro de la copa en el suelo, medido en metros, el diámetro 1 en dirección de las filas de NW a SE y el diámetro 2 en dirección de las hileras de NE a SW en todos los casos.

El análisis estadístico de los datos obtenidos de los experimentos, se realizó empleando el modelo 4 del Software SELEGEN-REML/BLUP. El modelo estadístico equivale a:

$$Y = Xr + Za + Wp + Ti + e$$

Donde, Y es el vector de los datos y es un parámetro común entre todas las familias evaluadas, r corresponde a los efectos de la repetición (asumidos como fijos) sumados a la media general, a corresponde a los efectos genéticos aditivos individuales (asumidos como aleatorios), p corresponde a los efectos de parcela (asumidos como aleatorios), i corresponde a los efectos de la interacción genotipo x ambiente (aleatorios) y e corresponde a los efectos del error experimental (aleatorios). Las letras mayúsculas representan las matrices de incidencia para los efectos referidos.

El software SELEGEN-REML/BLUP después del análisis (individual, por progenie y por familia), arroja resultados de acuerdo a los siguiente componentes de varianza: Varianza aditiva (V_a), Varianza dentro de parcela, bloque y familia ($V_{int\ FamBloc}$), Varianza ambiental (V_e), Varianza fenotípica (V_f), Heredabilidad en sentido amplio (h^2_a) y media general. A partir de esto el software arroja un ranking de los individuos, las parcelas y las familias, permitiendo con esto, y respecto al testigo comercial, hacer un ranking de los mejores árboles de acuerdo al comportamiento de sus progenies (Pastrana, 2009).

Resultados

En el cuadro 1 se incluye el análisis de varianza de los caracteres continuos evaluados en el ensayo clonal de melina en Siquirres, Limón a los 18 meses de edad. Se puede observar que en todos los caracteres se registraron diferencias significativas, con excepción de la simetría de copas, que obtuvo un valor de significancia de $P = 0,612$ ó inferior a un 38%.

Cuadro 1. Análisis de varianza fenotípica de caracteres continuos en un ensayo de evaluación de 25 clones de *Gmelina arborea* a los 18 meses de edad en Siquirres, Limón.

Caracter	F	P <	Promedio	CV	Menor	Mayor
Dap (cm)	3,61	0,0001	11,74	16,37	10,07	13,16
Número de trozas comerciales ¹	2,67	0,0001	3,98	40,31	2,71	5,28
Volumen comercial (m ³)/árbol	3,65	0,0001	0,063	47,77	0,035	0,088
Número de ramas hasta los 2,5m (troza 1)	3,93	0,0001	10,56	18,09	9,13	13,6
Diámetro de copa 1 (NW-SE m)	2,35	0,0002	4,43	14,44	4,01	4,93
Diámetro de copa 2 (NE-SW m)	2,44	0,0001	4,76	13,46	4,13	5,16
Área de copa (m ²)/árbol	3,05	0,0001	21,30	23,04	17,15	25,15
Simetría de copa ²	0,90	0,6119	0,94	15,60	0,89	1,02

1. Troza comercial en largos de 2,5m y hasta un diámetro mínimo de 5cm.

2. Cociente entre los dos diámetros individuales de copa (NW-SE/NE-SW).

Además se tiene que el promedio de DAP es de 11,76cm con un 16,37% de CV, que corresponde a una tasa de 0,65cm por mes, en 18 meses de edad, con poca variación entre los valores más bajos 10,07cm y los más altos con 13,16cm. El volumen comercial en promedio registró 0,063m³ por árbol, pero con un CV de 47,77% y valores que oscilaron desde 0,035 m³ a 0,088 m³. De manera similar, el número promedio de trozas comerciales por árbol, varió de manera significativa desde 2,71 hasta 5,28 trozas, que correspondió a un CV de 40,3%. El área de copa por árbol fue la siguiente variable en magnitud de variabilidad de su CV, con valores desde 17 hasta 25 m²/árbol a los 18 meses de edad.

En el cuadro 2 se muestra los parámetros genéticos del ensayo estimados con ayuda del programa SELEGEN (Resende, 2006).

Cuadro 2. Parámetros genéticos de caracteres cuantitativos obtenidos del análisis del ensayo clonal de melina a los 18 meses en Siquirres, Limón.

Parámetro	Dap (cm)	Volumen Comercial (m³)	No Trozas comerciales (2,5m largo)	No Ramas en 2,5 m	Área de Copa (m²)
Vg	0,399	0,00010	0,211	0,465	2,117
Varianza ClonxBloque	0,164	0,00002	0,017	0,249	1,585
Varianza ambiental (Ve)	3,600	0,00093	2,401	3,453	22,784
Varianza fenotípica (Vf)	4,164	0,00105	2,630	4,168	22,486
Heredabilidad individual (H²g)	0,095	0,095	0,080	0,111	0,079
Heredabilidad media clonal (H²mc)	0,692	0,703	0,672	0,715	0,635
Exactitud $\sqrt{h^2mc}$	0,832	0,838	0,819	0,846	0,797
CV genética (%)	5,38	15,95	11,42	6,44	6,80
SEP	0,350	0,005	0,263	0,364	0,878
Valor Medio	11,74	0,062	3,98	10,59	21,38

Donde:

Vg: varianza genética.

Ve: varianza residual o no explicada por el modelo

Vparc: varianza ambiental entre parcelas (clones dentro de bloques).

Vf: Vg + Vparc + Ve: varianza fenotípica total.

H²g: heredabilidad individual en sentido amplio.

H²mc: heredabilidad media del clon.

Exactitud: raíz cuadrada de H²mc: exactitud de selección de progenies, asumiendo sobrevivencia completa.

CVg %: coeficiente de variación genética entre clones.

SEP: desviación estándar del valor genotípico predicho del clon, asumiendo sobrevivencia completa.

Media general del experimento.

Puede observarse que los valores de heredabilidad individual son bajos en todos los caracteres investigados ($H^2g < 0,11$), donde el número de ramas en la primera troza registró el valor más alto. Mientras que los valores de heredabilidad media del clon son altos en todos los casos, así como la exactitud de todos los parámetros estimados ($E > 80\%$). Los coeficientes de variación genético muestran valores significativamente altos en todos los caracteres.

Cuadro 3. Correlaciones genéticas entre caracteres evaluados en el ensayo clonal de melina a los 18 meses en Siquirres, Limón.

Carácter	Dap	Vol comercial	No trozas	No ramas	Copa 1	Copa 2	Simetría	Área de Copa
Dap	1	0,9526	0,8331	-0,3997	0,5265	0,7292	-0,2494	0,6515
Vol Com.	0,9526	1	0,9497	-0,3735	0,5202	0,658	-0,1736	0,6214
No troza	0,8331	0,9497	1	-0,3348	0,4759	0,5188	-0,0572	0,5304
No rama	-0,3997	-0,3735	-0,3348	1	-0,2034	-0,3491	0,117	-0,3058
Copa 1	0,5265	0,5202	0,4759	-0,2034	1	0,7572	0,4122	0,9384
Copa 2	0,7292	0,658	0,5188	-0,3491	0,7572	1	-0,2712	0,9311
Simetría	-0,2494	-0,1736	-0,0572	0,117	0,4122	-0,2712	1	0,0881
Área de Copa	0,6515	0,6214	0,5304	-0,3058	0,9384	0,9311	0,0881	1

En el Cuadro 3 se observan las correlaciones genéticas entre todos los caracteres investigados. Se puede notar una asociación positiva y significativa entre casi todos los caracteres ($rg > 0,5$), con excepción del número de ramas en 2,5m de fuste. Este carácter se correlaciona inversamente proporcional a los caracteres de crecimiento. Es decir, a mayor diámetro, volumen o diámetro de copas, menor número de ramas en los primeros 2,5 m de fuste. Finalmente, la simetría de copas se asoció negativa y débilmente con todos los demás caracteres, excepto con el número de ramas, con el que mantuvo una correlación positiva pero débil.

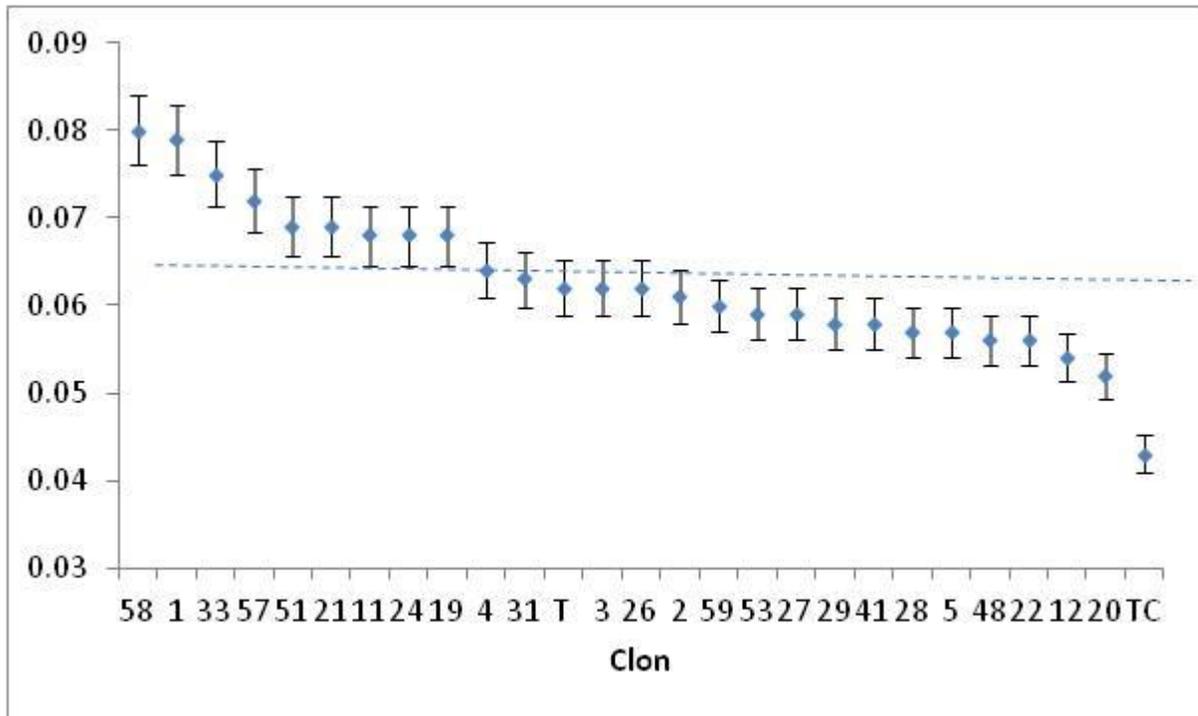


Figura 1: Distribución de 25 clones de melina según su valor genético del volumen comercial y su intervalo de confianza, a los 18 meses de edad en Siquirres, Limón. T y TC son los materiales Testigo Semilla de Rodal y Testigo Huerto Semillero. La línea segmentada muestra los mejores 9 clones y su diferenciación con respecto al resto de clones evaluados.

Las figuras 1 y 2 muestran de forma contundente la enorme variación genética en el volumen comercial entre los clones evaluados de melina en Siquirres a los 18 meses de edad. Los dos testigos muestran un comportamiento diferente en su tasa de crecimiento. De manera clara, el testigo TC se ubica no solo en la última posición ($< 0,035 \text{ m}^3/\text{árbol}$), sino significativamente inferior al grupo de clones evaluados. Mientras que el testigo T se localiza aproximadamente en la mitad del ranking genético y significativamente por debajo de los mejores 10 clones (línea punteada).

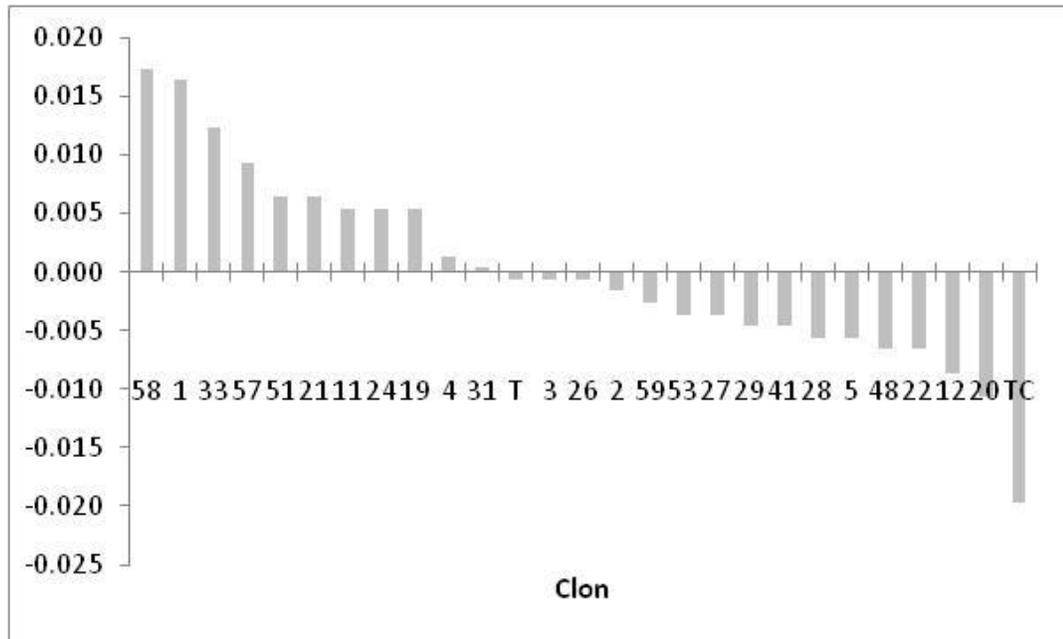


Figura 2. Desvío del valor genético del volumen comercial a los 18 meses con respecto al promedio de todos los materiales evaluados, en 25 clones de melina y 2 testigos (T y TC) en Siquirres, Limón.

La figura 2 nos muestra en términos de desvíos del valor genético del volumen, la magnitud de la superioridad de los distintos clones en relación con los testigos y en relación con los clones de bajo rendimiento a esta edad de referencia.

Cuadro 4. Ranking genético del volumen comercial a los 18 meses, de 25 clones de melina evaluados en Siquirres, Limón.

Ranking	Clon	Valor Genético	Límite Inf.	Límite Sup.	Valor Fenotípico
1	58	0,080	0,070	0,091	0,088
2	1	0,079	0,068	0,089	0,086
3	33	0,075	0,064	0,086	0,080
4	57	0,072	0,062	0,083	0,077
5	51	0,069	0,058	0,080	0,072
6	21	0,069	0,058	0,080	0,071
7	11	0,068	0,058	0,079	0,070
8	24	0,068	0,057	0,079	0,072
9	19	0,068	0,057	0,078	0,069
10	4	0,064	0,053	0,074	0,063
11	31	0,063	0,053	0,074	0,063
12	T	0,062	0,052	0,073	0,063
13	3	0,062	0,051	0,073	0,062
14	26	0,062	0,051	0,072	0,060
15	2	0,061	0,050	0,071	0,059
16	59	0,060	0,049	0,071	0,059
17	53	0,059	0,049	0,070	0,057
18	27	0,059	0,048	0,069	0,057
19	29	0,058	0,047	0,069	0,055
20	41	0,058	0,047	0,068	0,054
21	28	0,057	0,046	0,068	0,056
22	5	0,057	0,046	0,067	0,053
23	48	0,056	0,046	0,067	0,051
24	22	0,056	0,045	0,067	0,051
25	12	0,054	0,043	0,065	0,051
26	20	0,052	0,042	0,063	0,048
27	TC	0,043	0,033	0,054	0,035
Promedio		0,062			0,062

En el ranking genético del volumen comercial a los 18 meses, tenemos las posiciones del 1 al 27, de mayor a menor en valor genético (sin efectos del ambiente) en la tercer columna de izquierda a derecha, y las posiciones de mayor a menor en valor fenotípico en la última columna, encontrándose en todos los casos una igualdad de posición en el ranking en ambos valores, es decir los valores fenotípicos del volumen son consecuentes con sus respectivos valores genéticos.

Con este ranking genético del volumen comercial (cuadro 4) se puede obtener la ganancia genética esperada si se seleccionaran los mejores 10 clones, con base en la fórmula clásica ():

$$GG = S * H^2 \quad \text{donde,} \quad (1)$$

S = diferencial de selección

H² = heredabilidad en el sentido amplio.

En este caso, los mejores 10 clones registran a los 18 meses, una ganancia genética de un 13,75% en volumen comercial con respecto al primer testigo (T), o lo que es igual, con respecto al promedio de todos los clones del ensayo. Si se estima la ganancia genética con relación al segundo testigo (TC), la ganancia genética es de un 20% en volumen comercial.

Cuadro 5. Relación del ranking genético del DAP vs Área de Copa en clones de melina evaluados a los 18 meses en Siquirres, Limón

Clon	DAP	Clon	Área de Copa
58	12,72	19	23,57
33	12,66	58	23,03
1	12,55	1	23,00
57	12,38	T	22,93
11	12,28	51	22,26
19	12,14	29	22,20
T	12,02	41	21,95
21	12,01	11	21,91
31	11,96	31	21,86
51	11,93	3	21,82
26	11,91	5	21,74
24	11,84	28	21,72
4	11,77	33	21,63
2	11,75	53	21,55
27	11,70	4	21,31
3	11,69	57	21,09
28	11,63	26	21,09
59	11,61	21	21,04
29	11,54	24	21,02
53	11,53	22	20,96
5	11,39	59	20,89
22	11,32	20	20,56
41	11,23	27	20,48
48	11,15	2	19,71
12	11,00	12	19,56
20	10,99	48	19,20
TC	10,60	TC	19,18
Promedio	11,75		21,38

En el cuadro 5 puede observarse (líneas punteadas) la presencia de tres clones de melina que muestran buen crecimiento diamétrico pero copa pequeña. Así también el clon 41 que exhibe un DAP pequeño pero la 7ma copa del ranking, ambos casos en clara discrepancia con el resto de clones que si muestran el patrón lineal DAP/tamaño de copa.

Discusión

Del cuadro 1 puede observarse que el análisis de varianza determinó diferencias altamente significativas ($P > 0,0002$) en todos los caracteres, con excepción de la simetría de copas. Los resultados del análisis de varianza (cuadro 1) para el carácter simetría de copas pueden considerarse como esperados. El coeficiente de variación de ambos diámetros de copa fue de alrededor del 10,3%. En plantaciones jóvenes con baja mortalidad y por tanto, pocos espacios vacíos entre árboles, es de esperarse que en promedio, el desarrollo de la copa sea muy similar en el eje NW-SE en relación con el eje NE-SW. Esto implica que la diferencia entre los tamaños de los diámetros de copa NW-SE y NE-SW entre los árboles, o bien la simetría de copas entre los árboles, no tienen una relación importante con el clon (genotipo) al que pertenecen, sino que sus diferencias pueden deberse a otros factores externos o ambientales.

El coeficiente de variación muestra en forma consistente, valores sumamente elevados en todos los caracteres. Estos resultados a los 18 meses de edad auguran un gran potencial de mejoramiento genético con estos 25 clones. El volumen comercial registró el mayor coeficiente de variación (48%), explicado por la gran variación entre clones. Como puede observarse en el cuadro 1, el valor mayor duplica al valor menor. Este mismo patrón se observa en el ranking genético del volumen comercial (cuadro 4), donde los mejores genotipos duplican a los de menor volumen del ensayo.

El número promedio de trozas comerciales por árbol (3,8 trozas, cuadro 1) es relativamente bajo debido a la corta edad y a la presencia de diámetros aún pequeños. Sin embargo, mostró un interesante coeficiente de variación del 40%, que puede interpretarse como un reflejo de la enorme variación entre clones en su capacidad de crecimiento en diámetro y altura.

Como carácter interesante aparece el número de ramas existentes en los primeros 2,5m, con un intervalo desde 9 hasta casi 14 ramas y un coeficiente de variación superior al 18%. Del cuadro 2 puede observarse que este carácter registró la mayor heredabilidad individual (11%) y la mayor heredabilidad media del clon, con un 71%, ambas sumamente elevadas y expresión de un muy alto control genético. Este hallazgo es de gran valor para el futuro de este programa

de mejoramiento genético en dirección hacia la disminución del número de ramas en los árboles de melina.

Del cuadro 2 puede observarse que todos los caracteres cuantitativos registraron valores de heredabilidad media del clon (H^2_{mc}) sumamente elevados. (Cornelius,1994). El volumen comercial muestra un enorme potencial de mejoramiento genético, al registrar el mayor valor del coeficiente de variación genético. El diámetro manifestó los valores más bajos del coeficiente de variación genético y en la mediana posición entre los valores de heredabilidad, tal y como se espera por ser un carácter reportado, como típicamente afectado por el ambiente (competencia entre árboles).

En relación con las correlaciones genéticas, los valores observados muestran resultados que pueden ser considerados como esperados, con excepción del número de ramas. Los caracteres dap y número de trozas están directa y positivamente ligados, ya que forman parte del volumen comercial del árbol.

La relación inversamente proporcional encontrada entre el número de ramas y los caracteres de crecimiento (dap, número de trozas y volumen comercial), podría tener varias posibles explicaciones. La contabilidad a los 18 meses de edad de las ramas presentes en la primera troza, pudo verse afectada por el rápido desarrollo del cambium radial y de la corteza, que impidiera visualizar ramas que existieron, en cuyo caso sería un error de método. La otra posible explicación es que el número de ramas que un determinado genotipo emite por año, tenga algún mecanismo genético-fisiológico de control. De tal manera que si el individuo logra aumentar su tasa de crecimiento anual, emergerá la misma cantidad de ramas pero a intervalos mayores. Otra posible explicación puede también surgir, donde simplemente los genotipos de mayor tasa de crecimiento, invierte menos energía en ramas y más en la acumulación de su diámetro y altura.

La figura 1 es explicativa en sí misma, al mostrar claras diferencias significativas entre los clones evaluados. El origen del testigo TC es de huerto semillero supuestamente mejorado genéticamente en el antiguo programa de mejoramiento genético de Ston Forestal (Zeaser, 1998), mientras que el grupo de clones proviene de los mejores individuos obtenidos de los

cruces controlados (F2) de este mismo programa. Por tanto, el resultado no es inesperado, ya que los clones son los mejores genotipos de la segunda generación de mejoramiento de este mismo programa. En una segunda generación de mejoramiento, se espera que los nuevos materiales superen a la generación anterior (Zobel y Talbert, 1984), que corresponde con la semilla testigo. Otra explicación posible, es que el raleo genético efectuado en el huerto semillero, no se basó en una evaluación y selección suficiente de los materiales de la primera generación de mejoramiento. Existe poca información disponible o publicada sobre este programa de mejoramiento (Zeaser, 1998), pero cabe la probabilidad que los diseños genéticos de campo pudieron no ser suficientes para realizar una evaluación genética exhaustiva. Esta situación podría provocar el raleo genético de individuos que no debieron ser eliminados y viceversa, la permanencia de otros genotipos que debieron ser eliminados del huerto semillero (población comercial).

El segundo testigo es semilla proveniente de uno de los mejores rodales semilleros de Hojancha (CACH, Pilangosta), que ha sido apropiadamente manejado (más de tres raleos silviculturales). Sin embargo, su grado de mejoramiento genético no ofrece una explicación suficiente para su ubicación en el punto medio del ranking genético del volumen comercial, junto con los clones mejorados. Probablemente, la expresión genética del crecimiento volumétrico no se haya manifestado aún a los 18 meses de edad. Por lo que será prudente esperar a las próximas mediciones para revisar el comportamiento de este testigo en relación con el desempeño del resto de los clones del ensayo.

La ganancia genética de un 13,5% y un 20% en el volumen comercial, estimada a los 18 meses de edad, puede considerarse como de buena a muy buena (Cornelius, 1994). Sin embargo, se podría esperar que esta ganancia genética aumente con la edad, en la medida en que se exprese con mayor claridad la información genética de los materiales evaluados.

En el cuadro 5 se muestra uno de los hallazgos más relevantes de la investigación. Con base en las mediciones de los diámetros de copa se pudo constatar la existencia de varios genotipos con copa estrecha y buen crecimiento diamétrico (clones 33, 57 y 21), así como clones de bajo crecimiento diamétrico pero de copa amplia (clon 41). Los valores son consistentes y reflejan

el promedio de todos los rametos de cada uno de estos clones. Este patrón observado contradice el conocimiento generalizado de que los árboles de mayor DAP son los que desarrollan mayor copa. Por el contrario, estos clones exhiben claramente un comportamiento fisiológico diferente, hacia una mayor eficiencia en la inversión de la energía de su crecimiento en el tronco y no en la copa. Poca evidencia se conoce sobre el tema en especies forestales, pero claramente muestra un gran potencial de direccionamiento de la selección a favor de genotipos de copa estrecha. Estos resultados sugieren la revisión y posible inclusión de este carácter en los programas habituales de mejoramiento genético forestal.

Conclusiones

En cuanto al carácter cuantitativo de volumen comercial, el clon 58 es el mejor en su desempeño juvenil en todo el ensayo, con un valor genético de 0,080 y un valor fenotípico de 0,088

En cuanto al carácter cuantitativo de volumen comercial el peor clon evaluado en el ensayo en su desempeño juvenil, es el 20 con un valor genético de 0,052 y un valor fenotípico de 0,063, quedando de penúltimo en el ranking.

En cuanto al carácter cuantitativo de volumen comercial el peor tratamiento evaluado en todo el ensayo en su desempeño juvenil, es el testigo TC con un valor genético de 0,043 y un valor fenotípico de 0,054, quedando de último en el ranking.

Futuros trabajos en melina con relación a los patrones tempranos de ramificación, deberán intentar realizar observaciones a edad mucho más temprana, con el fin de disminuir probables errores de la evaluación de ramas.

Existe potencial de mejoramiento hacia selección de copa estrecha.

Capítulo II
Evaluación de caracteres cualitativos en un ensayo clonal de *Gmelina arborea* Roxb. en Siquirres, Limón

Resumen

La Asociación para el Desarrollo Sostenible de la Región Atlántica (ASIREA), La Cooperativa de Genética Forestal (Genfores) y Bienes J y J del Atlántico S.A. planearon y ejecutaron el establecimiento de un ensayo clonal de melina, en Florida de Siquirres en el año 2010, bajo el diseño de bloques completos al azar, con 25 tratamientos (clones) más dos materiales testigo, con 6 repeticiones (bloques), y 6 individuos por tratamiento, distribuidos aleatoriamente en 3 parejas dentro de cada bloque, con el objetivo de evaluar sus caracteres cualitativos.

Se evaluó el ensayo en campo a los 18 meses de edad, y se utilizó el software SELEGEN-REML/BLUP y el paquete estadístico SAS para procesar los datos. Los resultados fueron obtenidos mediante análisis de varianza fenotípica y de parámetros genéticos de caracteres cualitativos (calidad de trozas, presencia de rama gruesa, tolerancia al viento, bifurcación y estado fitosanitario), correlaciones y ranking genético de calidad.

En cuanto al caracteres cualitativos el clon 12 es el mejor en su desempeño juvenil en todo el ensayo, el peor clon evaluado en el ensayo en su desempeño juvenil es el 26, y el peor tratamiento evaluado en todo el ensayo en su desempeño juvenil, es el testigo T (testigo de semilla de rodal semillero).

Introducción

La calidad en el cultivo de madera, es un factor importante desde el momento de la producción del vivero hasta la industria, y la etapa de plantación no es la excepción.

Es determinante en gran medida, del aprovechamiento de la madera para fines estructurales o ebanistería, o bien el desecho de una troza que por su baja calidad, no de materia prima para estos fines.

Por eso, la necesidad de conocer también la calidad de los clones que produce ASIREA, siempre en aras de aumentar la productividad de los proyectos y el beneficio de los silvicultores y empresas forestales, y así posicionando en un nivel más competitivo la producción forestal.

Metodología

En la recopilación de los datos de campo, se mantuvo siempre la identificación de los datos por bloque, clon o testigo, y número dentro de la pareja (1 ó 2).

Codificación de los tratamientos: se anotó el número respectivo de clon, TC para el testigo de semilla proveniente del CATIE y T para el testigo de semilla de rodal semillero de Hojancha, Guanacaste.

Para la evaluación del ensayo de melina se utilizó un formulario con dieciséis variables a anotar, medir o estimar según el caso (ver Anexo 2).

La evaluación de calidad del ensayo se hizo tomando en cuenta variables cualitativas, las cuales se describen a continuación.

Dichas variables fueron: troza en la que existió daño por viento (si existió), existencia de bifurcación o reiteración, estado fitosanitario del árbol, calidad de la troza 1, 2, 3 y 4.

Número de árbol dentro de la pareja: se refiere a si es el árbol número 1 ó 2 dentro de cada par de individuos de un mismo tratamiento, importante para reconocer su posición en campo luego de los análisis estadísticos.

La evaluación de los caracteres cualitativos de los clones del ensayo se calificaron con base en la metodología de calidad desarrollada en el ITCR (Murillo y Badilla, 2004). La calificación individual de cada una de las primeras cuatro trozas de cada árbol se basó en las siguientes características:

Daño por viento: se registró anotando una “V” junto con el número de la troza donde se observó el daño (de troza 1 hasta troza 3).



Figura 2. Daños sufridos por viento en el ensayo clonal de melina en Siquirres, Limón.

Existencia de bifurcación o reiteración: anotando B o R respectivamente, junto con el número del 1 al 3, para indicar en cual troza se localizó la característica indeseada.



Figura 3. Bifurcaciones en genotipos de melina del ensayo clonal de melina en Siquirres, Limón.

Estado fitosanitario del árbol: Este criterio se calificó en cada troza con base en una escala de severidad de 1 a 3, donde una calificación de un “1” correspondió con trozas sanas, un “2”

para aquellos trozas con algún problema fitosanitario menor y un “3” para las trozas con clara evidencia de daño fitosanitario irreversible o de presencia de enfermedad muy avanzada.



Figura 4. Presencia de clorosis en el ensayo clonal de melina en Siquirres, Limón.

Calidad de troza: Con base en todos los criterios individuales de calidad explicados, se realizó una calificación general de la calidad de cada una de las primeras 3 a 4 trozas de cada árbol del ensayo. El largo de las trozas fue de 2,5 m, y se calificó con “1” las trozas rectas, cilíndricas con un número moderado a nulo de nudos sellados y sanos; una calificación de “2” para trozas con al menos uno de los defectos mencionados. Finalmente calidad “3” se asignó en aquellas trozas con defectos severos pero con posibilidad de aprovechar al menos un 50% de su madera con algún valor de mercado industrializable. Finalmente la calidad “4” se le asignó a aquellas trozas sin ninguna posibilidad de aprovechar madera para uso industrial como madera sólida.



Figura 5. Ejemplo de una troza de calidad 3 (izq) por la presencia de gambas o aletones basales y, otra troza de calidad 1 (der) del ensayo clonal de melina de Siquirres, Limón.

Presencia de rama gruesa: tomando como rama gruesa toda cuyo diámetro en su inserción al tronco sea mayor a un tercio del diámetro del tronco en ese punto. Si no existe la rama porque fue podada, pero el nudo no está cerrado y evidencia un tamaño mayor a un tercio del diámetro del tronco en ese punto, se tomó como rama gruesa.



Figura 6. Genotipos con rama gruesa en el ensayo de evaluación clonal de Siquirres, Limón



Figura 7. Ejemplo de árbol clonado de muy alta calidad dentro del ensayo genético.

En la Figura 7 se observa un ejemplo de árbol calidad 1. Los nudos que se aprecian se toleran si están sanos, completamente cerrados y si sus tamaños de inserción de rama son menores a 1/3 del diámetro del fuste.

La calidad del árbol se califica con base en la calidad de cada una de sus primeras cuatro trozas, ponderadas por su ubicación en el tronco, de modo que aunque lo ideal para un árbol calidad 1, es que todas sus trozas sean calidad 1, existe la posibilidad de que un árbol con una segunda, tercer o cuarta troza calidad 2, pueda ser un árbol calidad 1.

El análisis estadístico de los datos obtenidos de los experimentos, se realizó empleando el software SAS para los análisis de varianza, y el modelo 4 del Software SELEGEN-REML/BLUP (Resende, 2008). El modelo estadístico equivale a:

$$Y = Xr + Za + Wp + Ti + e$$

Donde, Y es el vector de los datos y es un parámetro común entre todas las familias evaluadas, r corresponde a los efectos de la repetición (asumidos como fijos) sumados a la media general, a corresponde a los efectos genéticos aditivos individuales (asumidos como aleatorios), p corresponde a los efectos de parcela (asumidos como aleatorios), i corresponde a los efectos de la interacción genotipo x ambiente (aleatorios) y e corresponde a los efectos del error

experimental (aleatorios). Las letras mayúsculas representan las matrices de incidencia para los efectos referidos.

El software SELEGEN-REML/BLUP después del análisis (individual, por progenie y por familia), arroja resultados de acuerdo a los siguiente componentes de varianza: Varianza aditiva (V_a), Varianza dentro de parcela, bloque y familia ($V_{int\ FamBloc}$), Varianza ambiental (V_e), Varianza fenotípica (V_f), Heredabilidad en sentido amplio (h^2_a) y media general. A partir de esto el software arroja un ranking de los individuos, las parcelas y las familias, permitiendo con esto, y respecto al testigo comercial, hacer un ranking de los mejores árboles de acuerdo al comportamiento de sus progenies (Pastrana, 2009).

Resultados

A continuación se presentan los resultados de la evaluación de caracteres cualitativos del ensayo de *Gmelina arborea* Roxb. en Siquirres.

Cuadro 6. Análisis de varianza fenotípica de caracteres cualitativos obtenidos del análisis del ensayo de evaluación de 25 clones de *Gmelina arborea* a los 18 meses de edad en Siquirres, Limón.

Caracter	F	P <	Promedio	CV	Menor	Mayor
Calidad (1 a 100)	2,35	0,0002	59,3	24,53	50,972	69,773
Presencia de ramas gruesas	1,34	0,1226	1,54	31,73	1,347	1,826
Tolerancia al viento	1,84	0,0075	1,07	23,71	1,000	1,260
Bifurcación	1,53	0,0468	1,05	21,19	1,000	1,250
Estado Fitosanitario	1,60	0,0318	99,25	6,01	95,652	100,000

En el Cuadro 6, se observa que todas los caracteres muestran diferencias significativas entre los clones y testigos evaluados, excepto la presencia de rama gruesa, cuyo P-Value fue de 0,122.

Todos los caracteres registraron una importante variabilidad entre clones, con valores que oscilaron en más de un 40% (en la calidad y presencia de ramas gruesas).

Con base en los datos se demuestra que el estado fitosanitario es muy bueno, con un valor de 99,25 y un CV de menos de 10%, es decir casi todo el material se presentó sano, solamente 8 árboles de la totalidad del ensayo presentaron clorosis, y en ningún caso se manifestó la *Nectria* sp.

Cuadro 7. Parámetros genéticos de caracteres cualitativos evaluados en el ensayo clonal de *Gmelina arborea* a los 18 meses de edad en Siquirres, Limón.

Parámetro	Calidad	Rama Gruesa	Tolerancia al viento	Bifurcación	Estado Fitosanitario
Varianza clonal (Vg)	11,469	0,002	0,002	0,001	0,146
Varianza ClonxBloque	14,999	0,010	0,001	0,000	7,307
Varianza ambiental (Ve)	148,687	0,230	0,063	0,049	29,134
Varianza fenotípica (Vf)	175,156	0,243	0,067	0,051	36,588
Heredabilidad individual (h²g)	0,065	0,009	0,032	0,023	0,004
Heredabilidad media clonal (h²mc)	0,568	0,165	0,433	0,359	0,056
Exactitud $\sqrt[2]{h^2mc}$	0,754	0,406	0,658	0,599	0,238
CV genética (%)	5,63	3,07	4,38	3,26	0,38
Desviación estándar	2,22	0,043	0,035	0,027	0,37
Valor Medio (%)	60,17	54	7,1	5,4	99,26

Mediante la aplicación del programa SELEGEN de Resende 2008, para análisis genéticos, obtenemos datos como los observados en el Cuadro 5. Con resultados promedios la calidad de los árboles fue de 60,17%, la rama gruesa se observó en un 54% de los árboles del ensayo, tolerancia al viento en un 93% de los individuos, la bifurcación se observó en un 5% y la presencia de problemas fitosanitarios a esta edad fue mínimo (0,74% de los árboles del ensayo). La heredabilidad individual registró valores sumamente bajos en todos los caracteres investigados. Mientras que la heredabilidad media clonal muestra valores muy altos en los caracteres calidad general, daño por viento y bifurcación.

Cuadro 8. Correlaciones genéticas entre caracteres cualitativos evaluados en el ensayo clonal de *Gmelina arborea* a los 18 meses de edad, Siquirres, Limón.

Carácter	Calidad	Viento	Rama G	Bifurc	Estado Fito
Calidad	1	-0,344	-0,660	-0,109	0,170
Viento	-0,344	1	0,192	0,058	0,418
Rama G	-0,660	0,192	1	0,107	0,041
Bifurc	-0,109	0,058	0,107	1	0,068
Estado Fito	0,170	0,418	0,041	0,068	1

Se observa en el cuadro 7 una correlación inversamente proporcional entre la calidad y todos los caracteres cualitativos, con excepción del estado fitosanitario. Particularmente, se observa una correlación genética alta y negativa con la presencia de ramas gruesas, seguida por los daños causados por viento.

Como es de esperarse la calidad está inversamente correlacionada con defectos como daños por viento, presencia de rama gruesa y bifurcación, ya que la calidad es una variable integradora que se basa en estas características específicas (Murillo y Badilla, 2004). En el caso del estado fitosanitario se correlacionan directamente con la calidad, daño por viento, presencia de ramas gruesas y bifurcación.

Cuadro 9. Ranking genético de la calidad de clones de *Gmelina arborea* evaluados a los 18 meses de edad en Siquirres, Limón.

Ranking	Clon	Valor Genético ¹	Límite Inf.	Límite Sup.	Valor Fenotípico
1	12	65,70	61,34	70,06	69,77
2	20	63,87	59,51	68,22	66,23
3	48	63,83	59,47	68,19	67,65
4	1	63,22	58,86	67,58	65,58
5	4	62,43	58,07	66,79	64,20
6	2	62,34	57,98	66,70	64,06
7	11	62,10	57,74	66,46	63,62
8	53	61,76	57,40	66,12	63,12
9	22	61,08	56,72	65,44	62,17
10	TC	61,04	56,68	65,40	61,44
11	24	60,87	56,52	65,23	61,21
12	57	60,86	56,50	65,21	61,59
13	41	60,67	56,31	65,03	61,33
14	51	60,47	56,12	64,83	60,76
15	5	59,84	55,48	64,20	59,76
16	21	59,44	55,09	63,80	58,89
17	27	59,06	54,70	63,42	58,19
18	59	58,62	54,26	62,98	57,54
19	19	58,55	54,19	62,91	57,14
20	29	58,47	54,11	62,82	57,19
21	3	58,22	53,86	62,58	56,74
22	58	57,98	53,62	62,34	56,32
23	31	57,88	53,52	62,23	55,61
24	33	57,62	53,26	61,98	55,58
25	28	56,96	52,60	61,32	54,17
26	26	56,85	52,49	61,21	54,28
27	T	55,03	50,67	59,38	51,01

1. El valor de calidad oscila entre 1 a 100, donde 100 es excelente.

El ranking genético para la calidad muestra una amplia variación entre los clones evaluados (cuadro 9, donde los mejores individuos superan significativamente en aproximadamente un 18% a los peores individuos. El testigo de semilla procedente del huerto semillero (TC) se ubica ligeramente por encima del valor medio del ranking. Mientras que el testigo de rodal semillero (T) se localiza en la última posición.

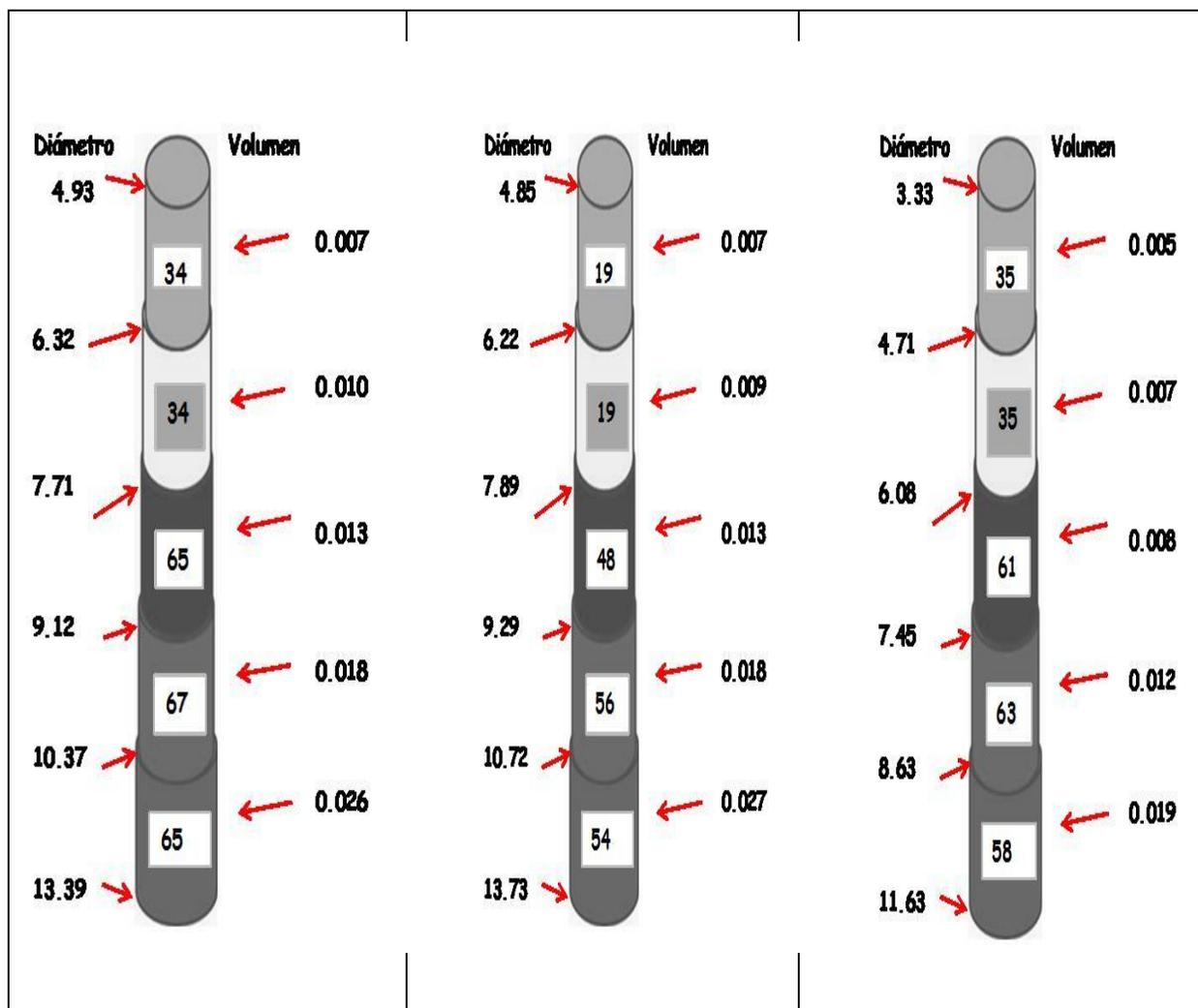


Figura 8. Representación del árbol promedio de la plantación según su calidad en las primeras 5 trozas de 2,5m, (IZQUIERDA, promedio de todos los clones; CENTRO, testigo semilla rodal semillero; DERECHA, testigo semilla mejorada de huerto semillero), Valores de la columna izquierda corresponden al diámetro promedio (cm), Valores dentro de cada troza corresponden con su calidad, escala 1 a 100, Valores en la columna derecha corresponden con el volumen de cada troza (m³).

En la Figura 8, se observa a la izquierda que el promedio de todos los clones supera en calidad en todas las trozas al promedio de los testigos de semilla de rodal y al promedio de los testigos de semilla de huerto semillero.

Además es interesante observar que la semilla de huerto semillero presenta mayores valores de calidad que la semilla de rodal, aunque esta última presente mayores valores de diámetro y volumen que el promedio de todos los clones.

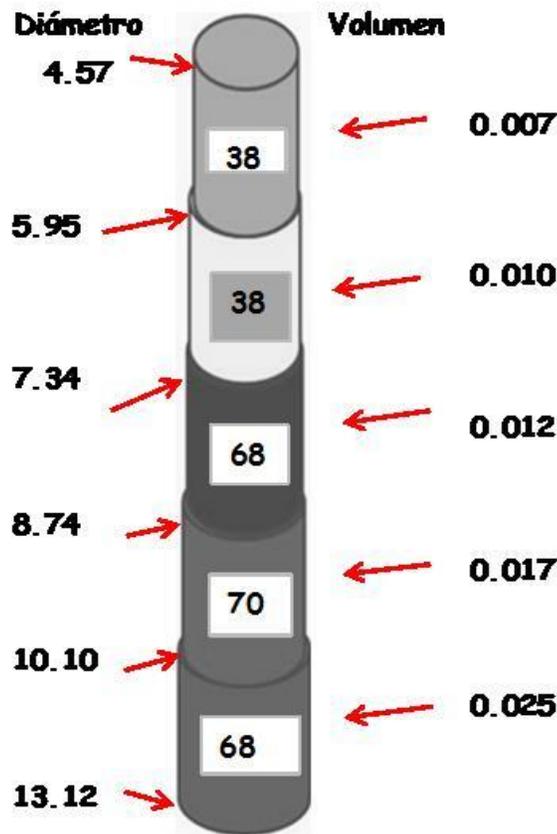


Figura 9. Representación del árbol tipo si se seleccionaran los 10 mejores clones del ranking genético del carácter calidad. Valores de la columna izquierda corresponden al diámetro promedio (cm), Valores dentro de cada troza corresponden con su calidad, escala 1 a 100, Valores en la columna derecha corresponden con el volumen de cada troza (m³).

En la figura 9, se observa que el promedio de los 10 mejores clones también supera en calidad a los testigos de semilla de rodal semillero y de semilla mejorada de huerto semillero. Sin embargo en valores de diámetro y volumen se encuentran entre los promedios de los testigos antes mencionados.

Discusión

En el Cuadro 6, hay que recalcar que las diferencias son altamente significativas en prácticamente todos los caracteres, lo cual es muy importante a nivel de mejoramiento genético, porque permite el proceso de selección de genotipos para condiciones dadas. Eso se evidencia en los valores mayores y menores de caracteres como calidad, tolerancia a viento y bifurcación.

En el caso de la presencia de rama gruesa, el grado de significancia es de tan solo 87,74%, menor al 95% utilizado comúnmente, es decir no hay diferencias significativas, y presenta una heredabilidad media de clon muy baja de tan solo 16,5%, como se observa en el Cuadro 7. Sin embargo se debe prestar atención a una variable que influye tanto en la calidad de material de cultivo, por si a otra edad no tan temprana revela datos significativos. Además se exhibe que los caracteres calidad, tolerancia al viento y bifurcación, mostraron una heredabilidad media del clon muy alta. Resultados similares se han registrado en teca (Badilla y Murillo, 2011), y esto es muy importante porque permite el control genético y contribuye aun más en el proceso de mejoramiento.

En el Cuadro 8 se exhiben las correlaciones entre los caracteres cualitativos evaluados, y como es de esperarse el daño por viento, presencia de rama gruesa y bifurcación se correlacionan indirectamente con la calidad. También es esperado que viento, rama gruesa y bifurcación estén directamente correlacionados, ya que estos defectos suelen producirse a causa del viento, asimismo que el estado fitosanitario se correlacione positivamente con calidad es de esperarse.

La correlación positiva del estado fitosanitario con el daño por viento, presencia de ramas gruesas y bifurcación, se explica debido a que las evaluaciones de estos caracteres, están ligadas a la troza donde se encuentran los daños, y entre más alto en el árbol está menos afecta la calidad del árbol. Esto sin dejar de lado que la plantación está muy sana, lo que podría hacer difícil discriminar daños asociados al estado fitosanitario en forma negativa.

Por tanto, no permitió establecer ningún valor de correlación o de discriminación interesante con el carácter calidad general.

El Cuadro 9 presenta el ranking genético de calidad de los clones y testigos del 1 al 27, siendo el 1 el mejor. Y puede notarse que el testigo de semilla de rodal se encuentra de último en el ranking, lo cual es de esperarse al no tener un proceso de mejoramiento genético. El testigo de semilla mejorada sin embargo, está en la posición 10 en el ranking de calidad, y esto se debe a dos posibles razones, a que tiene algún grado de mejoramiento que le da cierta oportunidad a nivel de calidad, y a que este testigo en particular obtuvo el último lugar en el ranking de volumen, lo que explica buena forma pero en árboles suprimidos, es decir la necesidad por luz podría estar contribuyendo a que presenten buena rectitud y forma en general.

En la Figura 8, el promedio de todos los clones supera en calidad en todas las trozas, al promedio de los testigos de semilla de rodal y al promedio de los testigos de semilla de huerto semillero, lo cual es esperado por el mejoramiento genético de los clones.

Además la semilla de huerto semillero presenta mayores valores de calidad que la semilla de rodal lo que también es esperado, aunque esta última presente mayores valores de diámetro y volumen que el promedio de todos los clones

Con respecto al promedio de los 10 mejores clones, es esperado también que mejore sustancialmente los valores de calidad con respecto a ambos testigos y con respecto al promedio de calidad de todos los clones, sin embargo tiene valores menores de diámetros y volumen que la semilla de rodal y el promedio de todos los clones (no así con respecto a la semilla de mejorada de huerto semillero que es de menos tamaño), y esto se debe a que los mejores clones en diámetro y volumen como el 58, 33 y 57, se encuentran por debajo de la posición 10 en el ranking de calidad, a excepción del clon 1 que aparece de 2do en el ranking de volumen y de 4to en el ranking de calidad, características que son muy deseadas, y después los clones 4, 11 y 24 que se muevan a partir de la 5ta posición en ambos ranking.

Conclusiones

En cuanto la calidad, el clon 12 es el mejor en su desempeño juvenil, con un valor genético de 65,70 y un valor fenotípico de 69,77.

En cuanto la calidad, el clon 26 es el peor en su desempeño juvenil, con un valor genético de 56,85 y un valor fenotípico de 54,28.

En cuanto la calidad, el testigo T es el peor en su desempeño juvenil en todo el ensayo, con un valor genético de 55,03 y un valor fenotípico de 51,01.

En general no siempre los clones de mejor calidad son los de mejor diámetro y volumen, como en el caso del clon 12, 20 y 48 evidenciado en que los 10 mejores clones tienen valores mucho mayores de calidad que la semilla de rodal pero no la superan en diámetro y volumen.

Recomendaciones generales

Como los resultados obtenidos del ensayo, son apenas a la edad de 18 meses, debe seguirse con una evaluación anual, que permita conocer el desempeño futuro de los clones bajo esas condiciones.

Bibliografía

- Cornelius, J. 1994. The effectiveness of plus-tree selection for yield. *Forest Ecology and Management*. No 67: 23-34.
- Murillo, Olman y Badilla, Yorlenny. 2004. Calidad y valoración de plantaciones forestales. Manual. Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 51 p.
- Murillo, Olman y Badilla, Yorlenny, 2005, ¿Qué es mejoramiento genético forestal?. Manual. Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago, Costa Rica, 14 p.
- Pastrana, I. 2009. Potencial genético en la selección de acacia (*Acacia mangium* Willd.) En Córdoba Colombia. Trabajo de grado de Maestría en Ciencias Agronómicas, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. 39 p.
- Resende, M. 2008. SELEGEN-REML/BLUP
- Salas, R, 2006. Desarrollo del programa de mejoramiento genético forestal del CACH (CENTRO AGRICOLA CANTONAL DE HOJANCHA). Tesis Bach. En ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 87 p.
- Zeaser, D. 1998. 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 de semilla de alta calidad. San José, Costa Rica. 19 de mayo de 1998. sp.
- Zobel, B. y Talbert, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de arboles forestales. Ed. Limusa. México D.F. 545p.

ANEXOS

Anexos 1. Diseño del ensayo clonal de melina de ASIREA Y Bienes J y J del Atlántico S,A, en Florida de Siquirres.

		CERCA DEL VECINO (CALLEJON)																																													
		VI											V											III											I												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2
AREA PLANTADA DE MELINA	1	51	1	22	53	48	21	24	29	57	19	26	TC	26	1	41	58	57	24	29	12	3	59	5	28	57	T	59	41	22	2	TC	48	11	11	19	28	59	57	53	1	12	33	TC	2		
	2	51	1	22	53	48	21	24	29	57	19	26	TC	26	1	41	58	57	24	29	12	3	59	5	28	57	T	59	41	22	2	TC	48	11	11	19	28	59	57	53	1	12	33	TC	2		
	3	2	11	TC	28	20	12	41	31	5	58	T	27	33	5	28	48	T	21	11	19	31	53	4	24	19	33	26	29	51	58	53	20	1	R	T	51	20	48	22	41	19	24	27	21		
	4	2	11	TC	28	20	12	41	31	5	58	T	27	33	5	28	48	T	21	11	19	31	53	4	24	19	33	26	29	51	58	53	20	1	R	T	51	20	48	22	41	19	24	27	21		
	5	58	T	19	24	TC	R	1	4	59	3	33	4	20	2	53	51	R	27	20	22	24	T	12	28	1	21	57	27	R	3	31	21	59	5	58	4	TC	31	26	1	57	3	29	20		
	6	58	T	19	24	TC	R	1	4	59	3	33	4	20	2	53	51	R	27	20	22	24	T	12	28	1	21	57	27	R	3	31	21	59	5	58	4	TC	31	26	1	57	3	29	20		
	7	27	53	57	33	41	28	2	31	29	22	11	59	TC	22	48	57	31	12	3	41	21	33	5	20	11	31	29	12	22	41	53	T	27	26	29	53	3	51	33	59	T	5	48	22		
	8	27	53	57	33	41	28	2	31	29	22	11	59	TC	22	48	57	31	12	3	41	21	33	5	20	11	31	29	12	22	41	53	T	27	26	29	53	3	51	33	59	T	5	48	22		
	9	12	21	59	48	3	27	51	4	26	20	5	51	11	2	58	26	1	29	5	19	4	28	26	33	2	3	TC	58	19	24	48	51	4	27	12	58	28	24	2	31	4	21	11	41		
	10	12	21	59	48	3	27	51	4	26	20	5	51	11	2	58	26	1	29	5	19	4	28	26	33	2	3	TC	58	19	24	48	51	4	27	12	58	28	24	2	31	4	21	11	41		
		AREA PLANTADA DE MELINA																						5	3	2	31	12	28	26	41	19	58	21	2	51	22	31	59	5	48	58	24	27	21		
		AREA PLANTADA DE MELINA																						5	3	2	31	12	28	26	41	19	58	21	2	51	22	31	59	5	48	58	24	27	21		
		AREA PLANTADA DE MELINA																						29	53	4	24	11	1	22	59	51	48	27	12	20	26	4	11	33	19	41	53	57	29		
		AREA PLANTADA DE MELINA																						29	53	4	24	11	1	22	59	51	48	27	12	20	26	4	11	33	19	41	53	57	29		
		AREA PLANTADA DE MELINA																						5	TC	58	21	26	27	TC	20	33	57	T	28	TC	1	58	29	R	21	3	T	TC	2		
		AREA PLANTADA DE MELINA																						5	TC	58	21	26	27	TC	20	33	57	T	28	TC	1	58	29	R	21	3	T	TC	2		
		AREA PLANTADA DE MELINA																						51	31	20	33	24	11	1	53	59	48	19	59	3	53	20	48	57	12	22	41	28	1		
		AREA PLANTADA DE MELINA																						51	31	20	33	24	11	1	53	59	48	19	59	3	53	20	48	57	12	22	41	28	1		
		AREA PLANTADA DE MELINA																						R	4	28	3	57	12	2	22	T	41	29	51	33	26	27	31	T	5	11	4	19	24		
		AREA PLANTADA DE MELINA																						R	4	28	3	57	12	2	22	T	41	29	51	33	26	27	31	T	5	11	4	19	24		

Ensayo Clonal de Melina

Fecha de siembra: Junio, 2010

Se utilizaron 25 clones y 2 testigos (Semilla Pilangosta, Hojancha, Rodal Hnos. Rodríguez)

El ensayo esta compuesto por 6 bloques, con 2 parejas/clon/bloque

Anexos 2. Formulario de campo para la colecta de datos para la evaluación del ensayo clonal de melina.

Hoja No.: ____

Formulario para evaluación de ensayos genéticos

Viento: 1 = 0 daños; 2 = torcedura leve; 3 = severamente doblado, quebrado,

Rama Gruesa: Delgada = 1; Gruesa = 2 (cuando el diámetro de la rama > 1/3 del fuste)

Empresa: _____ Lugar: _____

Especie _____ Tipo de ensayo: _____

Fecha Siembra: _____ Fecha Medición: _____

Bloque	Familia /Clon	Árbol	dap (cm)	h total (m)	Presencia de Rama Gruesa		h 1 rama gruesa (m)	Nº ramas hasta 2,5m	Daño Por Viento y a cuál altura V1 a V4	Bifurcación Reiteración B1 a B4 R1 a R4	Estado Fitosanitario			T1	T2	T3	T4	
					1	2					1	2	3					