

Influencia del **área foliar** en el enraizamiento de **genotipos superiores** de *Gmelina arborea* Roxb.

Juan Pablo Villegas-Espinoza¹

Rafael Murillo-Cruz²

Carlos Ávila-Arias²

William Hernández-Castro²

Resumen

Se determinó el área foliar adecuada para el enraizamiento y mejor desarrollo de esquejes de *Gmelina arborea* dentro de túneles de enraizamiento. Se utilizaron esquejes apicales de clones de melina número 5, 6 y 9, y se colocaron en túneles de enraizamiento. Los tratamientos aplicados consistieron en reducción del área foliar (8, 12, 16 y 20 cm²), la cual fue medida a partir de moldes de hojas de plástico cuadrículadas. A las tres semanas se evaluaron las variables: porcentaje de enraizamiento, altura final, área foliar final y biomasa total de las plantas. Se realizó análisis de varianza, pruebas de medias Tukey ($\alpha = 0,05$) y coeficiente de correlación de Pearson, con el software estadístico Info

Abstract

Leaf area influence in the rooting of superior *Gmelina arborea* Roxb. genotypes

To determine if the leaf area is necessary to ensure the better development of root cuttings for *Gmelina arborea* in their rooting tunnels. In the interest of this investigation we used Melina clones 5, 6 and 9 with apical cuttings, which were obtained and placed in embedded tunnels. The treatment consisted in reducing the leaf area (8 cm², 12 cm², 16 cm² and 20 cm²) by measuring the graph paper molds. The evaluation criteria items were Rooting percentage, final height, final leaf area and total biomass of plants within 3 weeks of rooting variables. There were different measuring

1. Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Ambientales; Heredia, Costa Rica; juan.villegas.espinoza@una.cr

2. Universidad Nacional, Instituto de Investigación y Servicios Forestales; Heredia, Costa Rica; murillorafael5454@yahoo.com; carlos.avila.arias@una.cr; william.hernandez.castro@una.cr

Recibido: 31/05/2016

Aceptado: 02/06/2016

Stat; se aplicaron modelos de regresión logística mediante el software estadístico "R". Se reportó un enraizamiento promedio de 75,8 %, influenciado por el diámetro y biomasa verde, los cuales reportaron 78 % de correlación. Los tratamientos de 16 cm² y 20 cm² presentaron mejores resultados en el porcentaje de enraizamiento y altura de las plantas. Se reportaron diferencias significativas entre los tratamientos, en las variables área foliar final y biomasa total, siendo el tratamiento de 20 cm² el que presentó mayor valor para ambas variables. EL clon 5 arrojó mejores resultados en área foliar y biomasa total. El área foliar de 20 cm² mostró resultados satisfactorios para mejorar la calidad del proceso de enraizamiento.

Palabras clave: *Gmelina arborea*, área foliar, enraizamiento, esqueje, clon, Costa Rica.

Introducción

En la actualidad la melina (*Gmelina arborea* Roxb.) es la especie forestal que más se comercializa en Costa Rica y es de las más utilizadas en plantaciones, por su rápido crecimiento, adaptabilidad a gran cantidad de sitios y por la versatilidad de la madera, en la elaboración de productos primarios y secundarios, principalmente en la fabricación de material de embalaje, para la industria de construcción y para la fabricación de muebles (Cardoza, 2009; ONF, 2014; Rojas, 2005). La melina ha estado en el mercado de nuestro país desde hace más de 15 años, siendo una de las especies de mayor conocimiento en el procesamiento y comercialización de la madera (Serrano y Moya, 2011).

A nivel de vivero Murillo y Guevara (2013) reportaron que la melina fue la especie de mayor producción en los viveros forestales de Costa Rica en el 2012, con casi un 50 % de los 7 millones (aproximadamente) de plantas producidas en ese año. Pese a la importancia que tiene la especie en nuestro país, no se cuenta con información detallada de su reproducción vegetativa, con el fin de estandarizar los procesos durante el enraizamiento de los esquejes o estacas de melina. Por esta razón es fundamental conocer la fase de reproducción en vivero de esta especie para mejorar la productividad y calidad de la misma (Ávila, 2013); el enraizamiento de las plantas es una variable por considerar, ya que define mejor la viabilidad económica en los viveros (Campos, Pereira, Saraiva, Graziotti y De Barros, 2010).

En el periodo de enraizamiento es de vital importancia determinar el área foliar óptima para que las plantas puedan desarrollarse exitosamente, al ser las hojas las que sintetizan los carbohidratos, los cuales serán

methods such as ANOVA, Tukey mean test ($\alpha = 0.05$) and Pearson correlation coefficient with statistical software InfoStat that were applied based on logistic regression by using the statistical software "R". Rooting average 75.75% influenced by the diameter and green biomass, reporting 78% correlation was reported, and also treatments of 16 cm² and 20 cm², which showed more conclusive results in variable rooting and plant height percentages. Significant differences between treatments were reported in variable end leaf area and total biomass with 20 cm² treatment presented the highest value for both variables. Clone 5 was the one that presented the best results in the variables leaf area and total biomass. The leaf area of 20 cm² showed good results to improve the quality of the rooting process.

Key words: *Gmelina arborea*, leaf area, rooting, cutting, clone, Costa Rica.

repartidos en los diferentes órganos de la planta (Meza y Bautista, 1999). Hartmann, Kester, Davies y Geneve (2011) apuntan que, la reducción de la biomasa foliar ejerce una fuerte influencia en la estimulación del proceso de enraizamiento de los esquejes. En ese mismo sentido, las hojas son las encargadas de transportar auxinas y carbohidratos hasta la base de los esquejes, de ahí la influencia directa y significativa en el inicio del enraizamiento (Gárate, 2010). Lo anterior evidencia que, la presencia de cierta área foliar en los esquejes es un factor clave para un óptimo enraizamiento.

Entre los objetivos de la reducción del área foliar se encuentran, evitar el efecto "paraguas", el cual podría afectar la eficiencia del riego y provocar exceso de transpiración de las plantas; además, propiciar un mayor equilibrio entre los efectos positivos y negativos de la fotosíntesis y la transpiración, mediante el intercambio gaseoso (Campos et al., 2010 y Gárate, 2010). Por otra parte, Díaz (1991), agrega que la presencia de hojas puede causar desecación de los esquejes y causar la muerte, sin embargo, las hormonas que se sintetizan en las hojas pueden contribuir a la formación de raíces. La pérdida de agua por transpiración en los esquejes es una de las principales causas que ocasiona la muerte de las plantas antes de la formación de raíces; este problema radica en que no se tiene un mecanismo para estandarizar ni homogeneizar la cantidad de área foliar con que se está trabajando a nivel de vivero (Noberto, Chalfun, Pasqual, Veiga, Pereira y Mota, 2001).

Para minimizar los efectos negativos en el proceso de enraizamiento, Alfnas, Zauza, Mafía y Assis (2004), recomiendan reducir en una tercera parte la lámina total de la hoja de los esquejes. Por otra parte, Xavier, Wendling y Da Silva (2009) señalan que en la producción clonal de eucalipto lo más común es reducir el área foliar

en un 50 %. En el caso de la teca, en el protocolo de propagación vegetativa realizado por Murillo y Badilla (2005), a los esquejes se les eliminó $\frac{1}{4}$ de la lámina foliar obteniendo más de 70% de enraizamiento. En melina, Rojas, Arias, Moya, Meza, Murillo y Arguedas (2004) plantea dejar solo una hoja del esqueje y reducir $\frac{1}{5}$ de su lámina, sin embargo, no se ha determinado cuál debería ser la reducción óptima de la lámina en los esquejes.

En general, durante el proceso de enraizamiento, el porcentaje óptimo en la reducción del área foliar varía para cada especie (Mesén, 1998); información que actualmente no se conoce para la melina. Queda evidenciada la importancia de conocer el efecto del tamaño de la lámina foliar en enraizamiento de esquejes provenientes de clones superiores en calidad de melina. Por tal razón, el presente estudio tuvo como objetivo determinar el área foliar óptima para garantizar el enraizamiento y mejor desarrollo de los esquejes de *G. arborea* dentro de los túneles de enraizamiento.

Material y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el vivero de reproducción vegetativa de especies forestales del Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional de Costa Rica (INISEFOR-UNA); el vivero se ubica en el cantón de Golfito, distrito Puerto Jiménez, localidad La Palma (entre las coordenadas geográficas N 8°36'49" y W 83°26'10"), Puntarenas – Costa Rica. La precipitación media anual varía entre 3500 y 4000 mm; se encuentra en el piso basal tropical de 0 a 500 m s.n.m., con una temperatura media anual de 24 a 28°C (Kappelle y Castro, 2002) y en la zona de vida, bosque muy húmedo premontano, transición a basal de acuerdo con la clasificación de Holdridge (Bolaños y Watson, 1993).

Descripción de la investigación

Se redujo el área foliar de los esquejes de melina en diferentes proporciones, dos días antes de ser cosechados y colocados en los túneles de enraizamiento (Villegas, Murillo, Ávila y Hernández, 2012). Para la reducción del área foliar, se utilizó como referencia el experimento realizado por Ofori, Newton, Leakey y Grace (1996) y Shiembo, Newton y Leakey (1996). Para tal efecto se utilizaron moldes elaborados con láminas cuadradas, transparentes, de plástico, y de diferentes tamaños, según cada tratamiento establecido (figura 1).

Se utilizaron únicamente esquejes apicales (Murillo y Badilla, 2005), seleccionados aleatoriamente en el jardín clonal, de los clones 5, 6 y 9 provenientes del Programa de Investigación y Extensión de la Zona Sur del INISEFOR-UNA.

Una vez cosechados los esquejes, se cortaron a una medida estándar de 8 cm, se pesaron para obtener biomasa verde, luego se les aplicó Ácido Indol-Butírico con una concentración de 3000 ppm e inmediatamente se colocaron en un jiffy y se introdujeron en los túneles de enraizamiento. En el proceso desde la cosecha hasta la colocación en jiffy de cada esqueje, se mantuvieron secos para evitar cualquier tipo de contaminación, por ejemplo, por medio de la savia; dicho procedimiento fue rápido para evitar su deshidratación. Mantener un buen control de temperatura, humedad, iluminación y estrés hídrico, durante la manipulación de los esquejes, es indispensable para lograr un adecuado enraizamiento (Soto, 2004, Murillo y Badilla, 2005).

Diseño experimental

El ensayo contó con cuatro repeticiones (4 túneles de enraizamiento); cada repetición se convirtió en un bloque completo al azar. En cada bloque se evaluaron 120 esquejes (30 esquejes por cada tratamiento, de los cuales 10 eran de cada uno de los clones mencionados anteriormente). Es decir, cada repetición fue de 120 esquejes, para un total de 480 plantas que se evaluaron en el ensayo. La dimensión de cada túnel de enraizamiento fue de 7 metros de largo por 1,20 metros de ancho (área 8,4 m²).

VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes o de clasificación evaluadas fueron los tratamientos de reducción del área foliar, a saber:

- Tratamiento 1: Reducción del área foliar de los esquejes a 8 cm.
- Tratamiento 2: Reducción del área foliar de los esquejes a 12 cm²
- Tratamiento 3: Reducción del área foliar de los esquejes a 16 cm²
- Tratamiento 4: Reducción del área foliar de los esquejes a 20 cm²

VARIABLES DEPENDIENTES

Se clasificaron en dos grupos: datos de entrada (para cada esqueje se midió la longitud total, diámetro en la base y biomasa verde) y datos de salida (para cada planta se determinó el porcentaje de enraizamiento, altura final, área foliar final, biomasa verde y seca aérea y de raíz y biomasa total).

1. Datos de entrada: Proceso realizado previo al enraizamiento de los esquejes.

- *Longitud:* Los esquejes se trabajaron con una longitud estándar de 8 cm.



Figura 1. (a) Moldes correspondientes a las áreas foliares evaluadas, (b) Procedimiento para la reducción del área foliar de los esquejes, (c) Área foliar reducida.

Figure 1. (a) Molds corresponding to the leaf areas evaluated, (b) Process for reducing the leaf area of cuttings, (c) Leaf area reduced.

- **Diámetro:** Se midió el diámetro en la base de cada esqueje con un vernier digital.
- **Biomasa verde:** Se determinó el peso verde de cada esqueje con una balanza digital (precisión de 0,0 g).

2. Datos de salida: Posterior al enraizamiento, son las variables clave analizadas para determinar el mejor tratamiento.

- **Porcentaje de enraizamiento o sobrevivencia:** Se determinó dividiendo la cantidad de plantas en las que se apreciaba sus raíces saliendo del jiffy, entre la totalidad del tratamiento y multiplicando ese dato por 100.
- **Altura final de las plantas:** Se midió la distancia desde el cuello de la raíz hasta la yema terminal o apical.

$$\% \text{ enraizamiento} = \frac{\text{Plantas enraizadas por tratamiento}}{\text{Total de plantas por tratamiento}} * 100$$

- **Área foliar final:** La biomasa foliar fue llevada al Laboratorio de Recursos Fitogenéticos de la Escuela de Agrarias de la Universidad Nacional (ECA-UNA) donde se determinó el área foliar final por medio de un escáner LI-COR Leaf area meter (LI-3100C).
- **Biomasa verde y seca total de las plantas:** Una vez conocido el peso verde final de cada tejido por separado (follaje y raíz), las plantas se introdujeron en un horno de secado a una temperatura de 70° C hasta lograr peso constante. Luego con una balanza de precisión se procedió a cuantificar el peso seco de la biomasa aérea o follaje, radicular y total.

Análisis de datos

Se realizó mediante el software estadístico InfoStat, versión 2013. Para cada una de las variables de entrada se realizaron medidas estadísticas resumen y para las variables de salida un Análisis de varianza (ANOVA) y una Prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$) para comparar las medias de los tratamientos y poder determinar dónde se encontraban las diferencias significativas entre ellos. Mediante la significancia estadística ($\alpha = 0,05$) se tuvo certeza que la diferencia observada entre dos o más tratamientos es el resultado del efecto del tratamiento y no del azar (Fallas, 2011).

La variable porcentaje de enraizamiento se analizó mediante el software estadístico "R" versión 3.1.0, 2014. Se utilizó la regresión logística basada en modelos mediante el Criterio de Información de Akaike (AIC, Akaike Information Criterion), el cual, trata de obtener el modelo que proporcione mejores predicciones entre los modelos existentes (Caballero, 2011). La selección del modelo que se ajustó mejor a los datos se realizó a partir del valor mínimo del AIC, el cual se trabajó a un 85% para lograr una mejor apreciación de los resultados (Vinuesa, 2008).

Además, se ejecutó un análisis de correlación de datos utilizando el coeficiente de Pearson, en el cual se midió el grado de asociación entre todas las variables dependientes e independientes del ensayo. Este análisis, proporciona información (dirección o sentido y cercanía o fuerza de la correlación) sobre la relación lineal entre dos variables (Lahura, 2003).

Resultados y discusión

Se presentan los estadísticos descriptivos para las variables de entrada, determinados de manera general

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos para las variables de entrada determinados a los esquejes de *Gmelina arborea* previo al enraizamiento

Table 1. Descriptive statistics for the input variables determined at *Gmelina arborea* cuttings prior to rooting

Variabes de entrada	n	Media	D.E	C.V (%)
Diámetro (mm)	480	4,19	0,83	19,7
Biomasa verde (g)	480	2,21	0,86	38,8

DE: Desviación estándar, CV: Coeficiente de variación

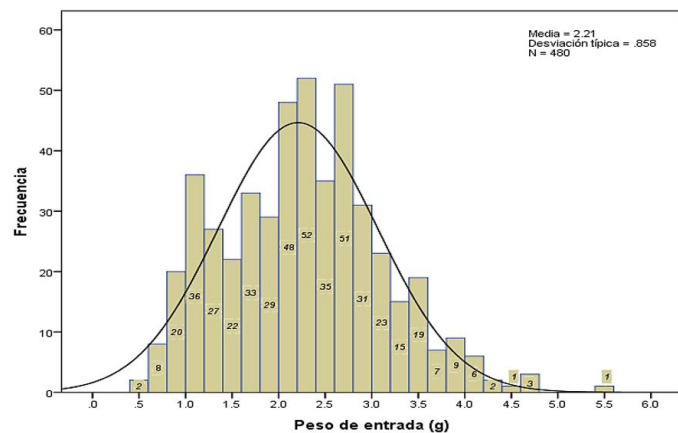


Figura 2. Histograma de biomasa verde para los esquejes de todos los tratamientos.

Figure 2. Histogram of green biomass for cuttings of all treatments.

y por clon (Cuadro 1 y 2, respectivamente) para los esquejes incluidos en la presente investigación.

El diámetro basal de los esquejes registró un valor promedio de 4,19 mm; el mismo varió entre 2,08 y 6,04 mm, además presentó un menor coeficiente de variación en comparación con el registrado para la biomasa verde. Tanto el diámetro como la longitud de los esquejes son factores determinantes en el proceso de enraizamiento,

según Baggio (1982), citado por Díaz (1991); esto se debe al contenido de sustancias de reserva de los esquejes.

Por su parte, la variable biomasa verde presentó un coeficiente de variación mayor, que se explica principalmente por las diferencias en los tratamientos de área foliar entre los esquejes. Dicho coeficiente de variación se reducirá significativamente si se utilizan esquejes de una longitud homogénea; como los de la presente investigación, con diámetros, lo más uniformes posibles, mediante el manejo del jardín clonal y el mejor tratamiento de área foliar que se describirá en párrafos posteriores.

Se registró un valor mínimo y máximo para biomasa verde de 0,40 g y 5,40 g, respectivamente, con un valor promedio de 2,21 g. El 62,7% de los esquejes se concentraron entre 1,5 y 3 gramos (figura 2). Se aprecia la típica distribución normal de los datos utilizados en la presente investigación, lo que brinda seguridad del análisis con estadística paramétrica.

El diámetro promedio para los esquejes obtenidos de los 3 clones, varió entre 4,03 mm y 4,28 mm; el clon 5 registró el valor promedio mayor para dicha variable y el clon 9 el menor; sin embargo, la diferencia entre el clon 5 y el 9 fue de tan sólo 0,25 mm, es decir, el material que se cosecha del jardín de multiplicación, al menos para los clones evaluados, es muy homogéneo, explicado por el plan de manejo intensivo que se le da al jardín y el desarrollo de cada planta madre. Por otra parte, el coeficiente de variación para el diámetro fue muy similar para los tres clones (cuadro 2).

Con respecto a la biomasa verde, el clon 6 mostró un valor promedio mayor, muy similar al del clon 5; sin embargo, fue el que obtuvo el coeficiente de variación más alto. El clon 9 registró la media más baja en ambas variables evaluadas.

Se presenta el análisis estadístico sobre las variables: diámetro y biomasa verde para cada uno de los tratamientos evaluados (Cuadro 3).

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos para las variables de entrada determinados a los esquejes de *Gmelina arborea* de cada clon previo al enraizamiento.

Table 2. Descriptive statistics for the input variables determined at *Gmelina arborea* cuttings for each clone prior to rooting.

Clones	Variable	n	Media	DE	CV (%)
5	Diámetro (mm)	160	4,28	0,83	19,35
	Biomasa verde (g)		2,27	0,79	34,65
6	Diámetro (mm)	160	4,27	0,90	21,08
	Biomasa verde (g)		2,32	1,06	45,77
9	Diámetro (mm)	160	4,03	0,73	17,99
	Biomasa verde (g)		2,03	0,65	31,87

DE: Desviación estándar, CV: Coeficiente de variación

Cuadro 3. Prueba de medias para el diámetro y la biomasa verde por cada tratamiento evaluado previo al enraizamiento de esquejes de *Gmelina arborea*.

Table 3. Means test for diameter and green biomass for each treatment evaluated prior to rooting of *Gmelina arborea* cuttings.

Diámetro (mm)			Biomasa Verde (g)		
Tratamiento	Media	CV (%)	Tratamiento	Media	CV (%)
2	4,61 a	17,05	4	2,55 a	29,84
3	4,34 b	15,38	2	2,47 a	31,94
4	4,11 c	17,03	3	2,39 a	29,15
1	3,71 d	23,48	1	1,42 b	46,11

DE: Desviación estándar, CV: Coeficiente de variación

Se registraron diferencias significativas en cuanto al diámetro entre tratamientos, con una diferencia de 24,2 % entre los tratamientos que registraron el menor y mayor diámetro (tratamiento 2 y 1, respectivamente).

En el caso de la biomasa verde, era de esperarse que el tratamiento 4 registrara el valor mayor, y el tratamiento 1, el menor, debido propiamente a la cantidad de biomasa foliar que se le dejó a cada tratamiento; sin embargo, el orden de los tratamientos 2 y 3 no era lo esperado, ya que el tratamiento 2 fue el que presentó mayor diámetro en los esquejes utilizados, lo que finalmente lo ubicó por encima del tratamiento 3, en cuanto a biomasa verde.

De la misma manera, la selección al azar de los esquejes, expresada en el acomodo de los tratamientos en cuanto al diámetro, explica que no se registraran diferencias estadísticas entre los tratamientos 4, 2 y 3 en cuanto a biomasa, pero sí entre ellos y el tratamiento 1, por haber registrado también el valor menor en cuanto al diámetro.

Una vez analizadas las variables previo al enraizamiento, denominadas “de entrada”, a continuación, se presentan los resultados en cuanto a parámetros registrados, posterior al enraizamiento (de salida), a saber: porcentaje de enraizamiento, altura final, área foliar final, biomasa verde y seca aérea y de raíz y biomasa total.

No se registraron diferencias significativas en cuanto al porcentaje de enraizamiento entre los tratamientos de reducción de biomasa foliar de los esquejes que se colocarían en los túneles de enraizamiento (cuadro 4). El enraizamiento se determinó en función de los esquejes que lograron enraizar al final del proceso.

Se registraron diferencias significativas en cuanto al diámetro entre tratamientos, con una diferencia de 24,2 % entre los tratamientos que registraron el menor y mayor diámetro (tratamiento 2 y 1, respectivamente).

En el caso de la biomasa verde, era de esperarse que el tratamiento 4 registrara el valor mayor, y el tratamiento 1, el menor, debido propiamente a la cantidad de biomasa foliar que se le dejó a cada tratamiento; sin embargo, el

orden de los tratamientos 2 y 3 no era lo esperado, ya que el tratamiento 2 fue el que presentó mayor diámetro en los esquejes utilizados, lo que finalmente lo ubicó por encima del tratamiento 3, en cuanto a biomasa verde.

De la misma manera, la selección al azar de los esquejes, expresada en el acomodo de los tratamientos en cuanto al diámetro, explica que no se registraran diferencias estadísticas entre los tratamientos 4, 2 y 3 en cuanto a biomasa, pero sí entre ellos y el tratamiento 1, por haber registrado también el valor menor en cuanto al diámetro.

Una vez analizadas las variables previo al enraizamiento, denominadas “de entrada”, a continuación, se presentan los resultados en cuanto a parámetros registrados, posterior al enraizamiento (de salida), a saber: porcentaje de enraizamiento, altura final, área foliar final, biomasa verde y seca aérea y de raíz y biomasa total.

No se registraron diferencias significativas en cuanto al porcentaje de enraizamiento entre los tratamientos de reducción de biomasa foliar de los esquejes que se colocarían en los túneles de enraizamiento (cuadro 4). El enraizamiento se determinó en función de los esquejes que lograron enraizar al final del proceso.

Se obtuvo un promedio general de 75,75% de enraizamiento para los cuatro tratamientos; este promedio es mayor al obtenido por Ruiz (2005) para la

Cuadro 4. Efecto de cuatro áreas foliares sobre el porcentaje de enraizamiento de esquejes de *Gmelina arborea*.

Table 4. Effect of four leaf areas on the percentage of rooting for *Gmelina arborea* cuttings.

Tratamiento	Enraizamiento
8 cm ²	75% A
12 cm ²	75% A
16 cm ²	78% B
20 cm ²	75% A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Cuadro 5. Modelos estadísticos explicativos basados en el enraizamiento de esquejes de *Gmelina arborea* según AIC.

Table 5. Explanatory statistical models based on rooting *Gmelina arborea* cuttings according AIC.

Modelo	AIC	D. AIC	K	Peso de Akaike
Tratamiento + biomasa verde de entrada	511,5	0	5	0,355
Tratamiento+ biomasa verde de entrada + Diámetro	512	0,5	6	0,276
Clon+ Diámetro + biomasa de verde + Tratamiento	512,8	1,3	8	0,182
Diámetro + biomasa de verde	514,1	2,4	3	0,093
Diámetro	514,7	3,2	2	0,072
Biomasa verde de entrada	514,7	3,3	2	0,069
Tratamiento + Diámetro	515,5	4,1	5	0,047
Clon	535,7	24,2	3	<0,001
Tratamiento	538,3	26,8	4	<0,001
Tratamiento +Clon	541,1	29,6	6	<0,001

AIC: Criterio de Información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés), D. AIC: Diferencia de AIC entre el mejor modelo y los demás; K: Es el número de parámetros independientes estimados dentro del modelo; Peso de Akaike: La probabilidad de que sea el mejor modelo.

Cuadro 6. Enraizamiento de esquejes de *Gmelina arborea* según valores de diámetro en milímetro.

Table 6. Rooting cuttings *Gmelina arborea* according millimeter diameter values.

Esquejes	Media (mm)	Mínimo (mm)	Máximo(mm)	C.V (%)
Enraizaron	4,10	2,08	6	20,25
No enraizaron	4,49	2,75	6,04	16,68

CV: Coeficiente de variación

Cuadro 7. Altura mínima, máxima y promedio para cada tratamiento de reducción de área foliar.

Table 7. Minimum, maximum and average height for each reduction treatment in leaf area.

Tratamiento	Media (cm)	D.E	E:E	CV (%)	Mín	Máx
8 cm ²	10,14 A	0,93	0,10	9,21	7,30	12,50
12 cm ²	9,96 A	1,13	0,12	11,32	6,70	12,90
16 cm ²	10,74 B	1,52	0,16	14,16	7,50	15,40
20 cm ²	10,59 A-B	1,47	0,15	13,87	8,10	15,50

DE: Desviación estándar, EE: Error estándar, CV: Coeficiente de variación. Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05).

misma especie de 70 % de enraizamiento. En teca, Murillo y Badilla (2013), reportan porcentajes de enraizamiento entre 60 y 70 % en jardines clonales; ese rango de porcentaje obtenido en jardines clonales fue superado en el presente estudio. Sin embargo, Villegas et al. (2012) reportaron 97,80 % de enraizamiento en melina, lo cual evidencia que se pueden obtener porcentajes de enraizamiento mayores.

Aunque estadísticamente no se registraron diferencias significativas, la reducción del área foliar de los esquejes de melina a 16 cm² previo a la cosecha (tratamiento 3),

presentó el porcentaje de enraizamiento más alto, con 78 %. La diferencia registrada entre el tratamiento con el mayor y menor enraizamiento fue de 3%, lo cual representa una diferencia de 4 plantas, cuya diferencia es muy poco significativa desde el punto de vista práctico en el proceso productivo del vivero cuando se trata de producción a pequeña escala; sin embargo, puede representar una diferencia importante en viveros de reproducción vegetativa que producen más de cien mil plantas anuales. Esa diferencia tan pequeña deja abierta la posibilidad de evaluar áreas foliares mayores en donde sí se pudiesen registrar diferencias significativas.

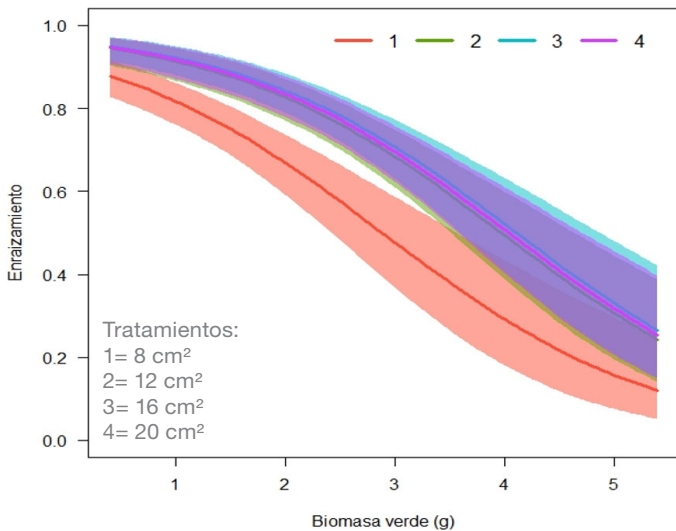


Figura 3. Modelo de regresión basado en el enraizamiento ~ tratamiento + biomasa verde de entrada de los esquejes que enraizaron

Figure 3. Regression model based on rooting ~ treatment + green biomass input about root cuttings.

Díaz (1991) probó diferentes áreas foliares para el enraizamiento de melina (25, 50 y 100 cm²); en cuanto al área foliar de 50 cm², logró obtener el mayor porcentaje de enraizamiento y el de 25 cm² el menor (71 % y 59 %, respectivamente), sin llegar a registrar diferencias estadísticamente significativas. En ese mismo estudio, los autores no encontraron una relación directa entre el tamaño del área foliar de los esquejes y el porcentaje de enraizamiento, concordando con los resultados registrados en la presente investigación.

Tchoundjeu et al. (2002) lograron registrar un patrón entre el área foliar y el porcentaje de enraizamiento en su investigación con *Prunus africana*, donde evaluaron cinco áreas foliares (0, 5, 10, 20 y 25 cm²) para el enraizamiento de los esquejes; los resultados mostraron diferencias en el porcentaje de enraizamiento, ya que la capacidad para enraizar aumentó proporcionalmente al área foliar hasta los 20 cm² con un 79 %, donde se estabilizó al obtener el mismo enraizamiento a los 25 cm² de área foliar.

Por su parte, Mesén (1998) reportó buenos resultados en el enraizamiento de varias especies forestales (*Acacia mangium*, *Albizia guachapele*, *Alnus acuminata*, *Cedrela odorata*, *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla*, entre otras), utilizando áreas foliares entre 10 y 50 cm². Los anteriores resultados evidencian la influencia positiva que tiene la presencia de hojas y su tamaño en la estimulación del proceso de enraizamiento (Moraes, Fonseca y Rui, 2014). La influencia de la biomasa foliar sobre el enraizamiento puede estar relacionado con la actividad fotosintética durante la propagación, ya que con menor área foliar, el proceso de fotosíntesis se reduce y por

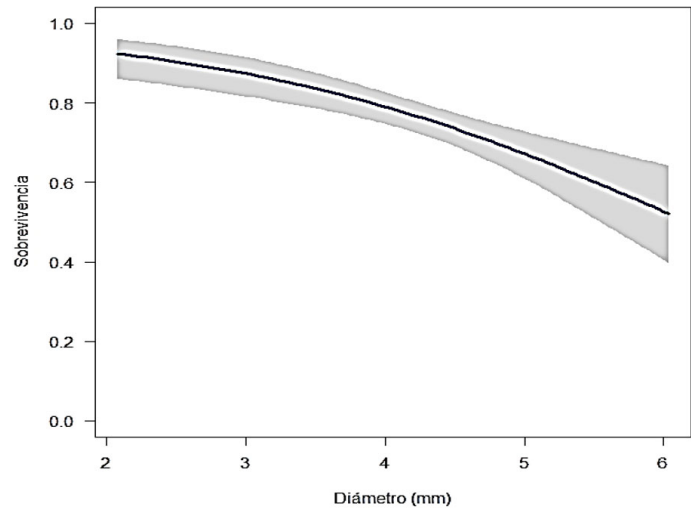


Figura 4. Modelo de regresión basado en la correlación entre el enraizamiento (sobrevivencia) y diámetro.

Figure 4. Regression model based on the correlation between rooting (survival) and diameter.

ende ocurre menor capacidad de enraizamiento; esta es una justificación más para conocer el área foliar mínima y máxima para lograr un porcentaje de enraizamiento óptimo (Mesén, Newton y Laekey, 1997).

Se probaron distintos modelos para una mejor explicación del porcentaje de enraizamiento. Se determinó que el modelo basado en el tratamiento + biomasa verde de entrada (g), es el que mejor se ajustó a los datos (cuadro 5). Vinuesa (2008) apunta que el modelo con menor AIC es el que presenta un mejor ajuste, a lo que Caballero (2011) agrega que el mejor modelo proporciona la aproximación más cercana a la realidad en estudio, en este caso, al proceso de enraizamiento. Por otra parte, un resultado que debe resaltarse es que los modelos basados solamente en el tratamiento o solamente en el clon o la combinación de ambas variables, son los que menos se ajustaron; es decir, son las variables que influyen en menor medida en el porcentaje de enraizamiento.

Lo anterior se deduce al no haberse registrado diferencias significativas en el porcentaje de enraizamiento entre tratamientos, y por la homogeneidad de la base genética utilizada para seleccionar los tres clones evaluados.

El mejor modelo presentó un 35,5 % de probabilidad de ajustarse a los datos, según el peso de Akaike, con una diferencia de 7,9 % por encima del segundo mejor modelo, el cual considera las mismas variables del mejor modelo, pero incluye el diámetro (mm) de entrada de los esquejes a los túneles de enraizamiento. Lo anterior representa que, la biomasa verde tiene influencia en el enraizamiento, comparado con el tratamiento como tal (figura 3).

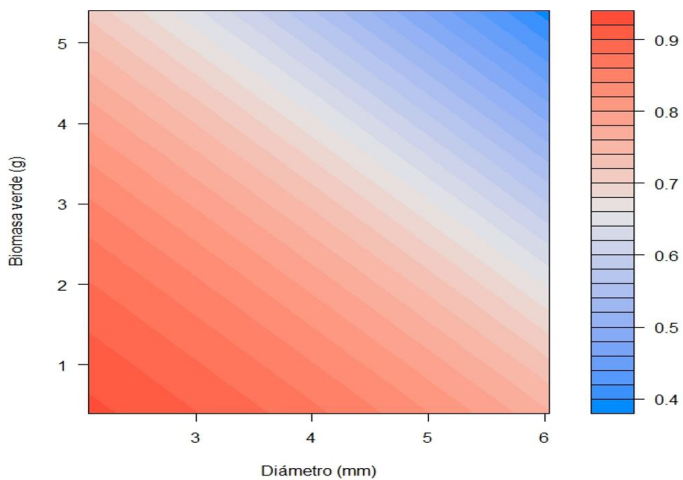


Figura 5. Modelo de regresión para el enraizamiento basado en la biomasa verde (g) de entrada + diámetro (mm) para esquejes de clones de *Gmelina arborea*.

Figure 5. Regression model based on green biomass (g) input + diameter (mm) for cuttings of *Gmelina arborea* clones.

Al respecto, el tratamiento de 8 cm² fue el que mostró menor porcentaje de enraizamiento, ligado directamente a la biomasa verde de entrada de los esquejes y a los tratamientos de 12, 16 y 20 cm² que mostraron mayor enraizamiento. De esta manera, áreas foliares iguales o menores de 8 cm² pueden disminuir el porcentaje de enraizamiento, ya que la biomasa verde está directamente relacionada con el peso del esqueje.

El 87,9% de los esquejes que lograron enraizar pesaron menos de 3 gramos; en cambio el 71,5% del total de los esquejes que no enraizaron registraron pesos de 3 gramos o más. Es importante mencionar que la biomasa verde promedio de entrada de los esquejes que enraizaron fue de 2,11 g y los que no lograron enraizar fue de 2,52 g; es decir, la biomasa verde de entrada de los esquejes que enraizaron está por debajo del promedio general (2,21 g); esto reflejó que a menor biomasa verde de los esquejes, el porcentaje de enraizamiento es mayor.

En general, los esquejes del ensayo tenían un diámetro promedio de 4,19 mm, con un mínimo de 2,08 mm y un máximo de 6,04 mm. Los esquejes que no enraizaron registraron en promedio 9,5 % mayor diámetro que los que sí lograron enraizar (cuadro 6).

Los esquejes que lograron enraizar en el presente ensayo registraron un diámetro promedio de 4,10 mm, el cual se encuentra dentro del rango de diámetros evaluado por Leakey et al. (1990) para el enraizamiento de melina. En ambas investigaciones el porcentaje de enraizamiento fue superior al 75 %.

Ligado a los anteriores resultados, se obtuvo una correlación negativa de un 20 % entre el diámetro y

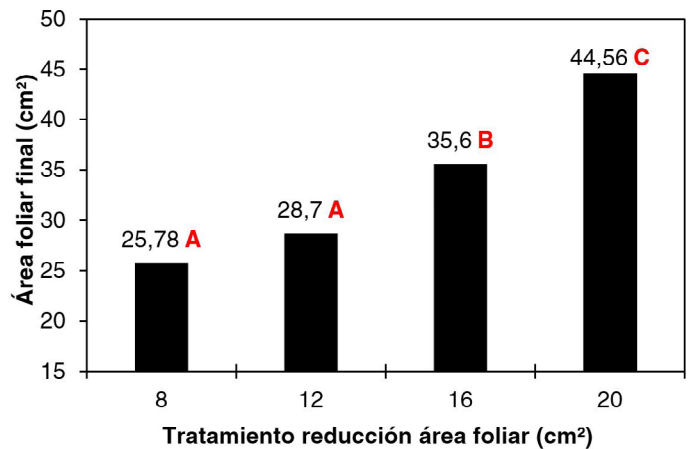


Figura 6. Efecto de los tratamientos de reducción de área foliar sobre el área foliar final de los esquejes enraizados de *Gmelina arborea*. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Figure 6. Effect of reduction treatments in the leaf area about final leaf area of *Gmelina arborea* rooted cuttings. Different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

el enraizamiento. Es decir, a mayor diámetro, menor porcentaje de enraizamiento (figura 4), lo que implica que, esquejes con mayor diámetro tienen menor probabilidad de enraizar que los esquejes con menor valor. Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Landis, Dumroese y Haase (2010), quienes señalaron que el diámetro del tallo tiende a estar correlacionado con el enraizamiento de las plantas. En el caso de la presente investigación, la correlación fue negativa.

Esa misma correlación negativa se presentó entre la biomasa verde de entrada y el enraizamiento; por lo cual, a mayor biomasa verde, menor porcentaje de enraizamiento de las plantas. Dicha correlación que se presentó entre las variables enraizamiento-diámetro y enraizamiento-biomasa verde, fue producto de la alta correlación que existe entre el diámetro y la biomasa verde, con un 78 %.

En resumen, esquejes con mayor diámetro y mayor biomasa verde de entrada tienen probabilidades de enraizamiento considerablemente menores, situación contraria ocurre con esquejes que presentan menor biomasa verde de entrada y menor diámetro; en este caso, las probabilidades de enraizar son mayores (figura 5). Dicho patrón no coincide con lo mencionado por Mesén (1998), quien indica que en general para muchas especies forestales, incluida *G. arborea* se utilizan esquejes más gruesos para el enraizamiento con rangos de 3 a 6 cm en longitud y 3 a 6 mm en diámetro.

Teóricamente, según el modelo de regresión anterior (figura 4), si se desea tener un porcentaje de enraizamiento mayor al 90% en los esquejes de clones de melina, los esquejes deben ingresar a los túneles con un peso menor

Cuadro 8. Prueba de medias sobre la altura final por clon para los esquejes enraizados de *Gmelina arborea*.

Table 8. Means test about final height by clone for *Gmelina arborea* rooted cuttings.

Clon	Media (cm)
5	10,34 A
6	10,30 A
9	10,24 A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

a 1 gramo y diámetro menor de 3 mm. Lo anterior es parte de las directrices y pautas que los resultados aquí obtenidos deben dar para que la producción de plantas en el vivero sea más eficiente.

De la misma manera que con el porcentaje de enraizamiento, la reducción del área foliar a 16 cm² registró los mejores resultados en cuanto a la altura final de las plantas, con un promedio de 10,74 cm y una diferencia de 6,6 % con respecto al tratamiento de 12 cm², el cual presentó el menor crecimiento en altura (figura 10). Se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos; así, los tratamientos 1 y 2 son iguales entre sí, pero el tratamiento 3 es diferente a ellos. A nivel de producción en el vivero, este resultado tiene significancia práctica, ya que, si a los esquejes se les deja 16 cm² de área foliar, las plantas llegarán a tener las mayores alturas en comparación con dejarles 8 cm², 12 cm² o 20 cm².

Como se evidenció en el cuadro 7, el tratamiento de 16 cm² registró mayor altura promedio con 10,74 cm; por su parte, el tratamiento de 12 cm² presentó la altura menor con un promedio de 10,14 cm. El coeficiente de variación en la altura de las plantas fue similar para cada uno de los tratamientos; sin embargo, cabe resaltar que aumentó conforme se incrementaba la cantidad de biomasa foliar remanente en los esquejes de hasta 16 cm², lo que sugiere que conforme se aumenta la cantidad de biomasa foliar en el esqueje era más difícil lograr uniformidad en la altura final de las plantas enraizadas.

Por otra parte, se aprecia cómo las plantas con los tratamientos de mayor área foliar (16 y 20 cm²) mostraron mejores crecimientos en altura; probablemente sea por la mayor producción fotosintética de las hojas; esto por tener mayor área foliar para realizar tal proceso, ya que la altura inicial de las plantas sirve de estimación de la capacidad fotosintética de las mismas (Landis et al., 2010).

En la prueba Tukey, el uso de clones no presentó diferencias estadísticamente significativas (cuadro 8), es decir, no causó efecto significativo en los resultados, por lo tanto, el efecto clon no influyó en el crecimiento en altura, ni en el porcentaje de enraizamiento anteriormente mencionado.

Cuadro 9. Prueba de medias sobre el área foliar final por clon para los esquejes enraizados de *Gmelina arborea*.

Table 9. Means test about final leaf area per clone for *Gmelina arborea* rooted cuttings.

Clon	Media (cm ²)	n
5	37,23 A	126
9	33,06 B	118
6	29,74 B	120

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

En la figura 6 se aprecia el área foliar final de los esquejes enraizados según los tratamientos evaluados y las diferencias estadísticas entre ellos.

Se evidencia, una relación directa entre la cantidad de área foliar inicial de los esquejes de acuerdo con los tratamientos establecidos y la cantidad de área foliar al finalizar el enraizamiento. Se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos 3 y 4, en cambio el 1 y 2 (8 cm² y 12 cm², respectivamente) fueron iguales. El tratamiento de 20 cm² fue el que presentaba mayor área foliar inicial, y, de la misma manera registró mayor área foliar final.

Según Gárate (2010), es necesaria una superficie foliar mínima con el fin de asegurar la fotosíntesis necesaria para lograr el enraizamiento de los esquejes.

A partir de la biomasa foliar inicial para cada tratamiento, se registraron incrementos en dicha variable de 222,8 %, 167,6 %, 123,3 % y 113,4 % para cada tratamiento (8 cm², 12 cm², 16 cm² y 20 cm², respectivamente). El mayor incremento en área foliar durante las tres semanas dentro de los túneles de enraizamiento correspondió a los esquejes con 8 cm². La mayor área foliar final en el tratamiento 4 tiene una importancia práctica muy relevante; es indispensable enviar al campo plantas vigorosas y preparadas para producir la mayor cantidad de alimento que propicie un rápido desarrollo inicial, tanto del sistema radicular como de tallo y hojas.

En los tratamientos de 8 y 12 cm² no se presentaron diferencias estadísticas, caso contrario ocurrió con los tratamientos de mayor área foliar (16 y 20 cm²), donde el tratamiento de 20 cm² presentó diferencias significativas de más de 16 % en área foliar final, con respecto al tratamiento de 16 cm². Por otra parte, se presentaron diferencias significativas entre los clones evaluados en cuanto a la biomasa foliar final de los mismos (cuadro 9). El clon 5 fue diferente al 6 y 9 y superó en 20,12 % al de menor área foliar, lo que significa que el material genético tuvo una reacción distinta a las reducciones del área foliar. El mismo comportamiento se produjo en clones de eucalipto, donde los 8 clones utilizados se comportaron diferente según las reducciones foliares aplicadas (0, 25, 50 y 75 %), según lo concluido por Campos et al. (2010).

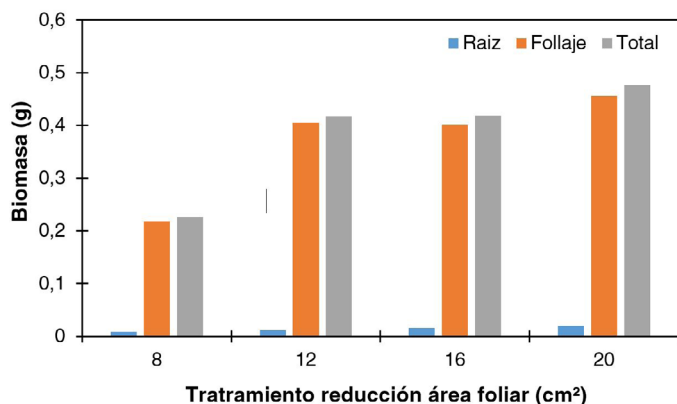


Figura 7. Efecto de los tratamientos de reducción foliar sobre la biomasa final promedio de los esquejes enraizados de *Gmelina arborea*.

Figure 7. Effect of foliar reduction treatments about final biomass average of *Gmelina arborea* rooted cuttings.

Cuadro 10. Prueba de medias sobre la biomasa final y sus componentes para cada tratamiento de reducción de área foliar en *Gmelina arborea*.

Table 10. Means test about final biomass and its components for each leaf area treatment reduction of *Gmelina arborea*.

Área foliar	Biomasa raíz (g)	Biomasa aérea (g)	Biomasa total (g)
8 cm²	0,0083 A	0,2189 A	0,2273 A
12 cm²	0,0123 B	0,4053 B	0,4177 B
16 cm²	0,0160 C	0,4023 B	0,4183 B
20 cm²	0,0201 D	0,4564 C	0,4765 C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Cuadro 11. Prueba de medias sobre la biomasa total por clon para los esquejes enraizados de *Gmelina arborea*.

Table 11. Means test about total biomass per clone for rooted *Gmelina arborea* cuttings.

Clon	Media (gr)	n
5	0,4114 A	126
9	0,3729 B	118
6	0,3706 B	120

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

En la figura 7 se muestran los resultados de la biomasa promedio final de las plantas que lograron enraizar en cada tratamiento evaluado.

Como era de esperarse, se presentó una marcada relación entre la cantidad de área foliar de entrada de los esquejes a los enraizadores, según tratamientos y la biomasa final total. El tratamiento de 20 cm² registró el mayor promedio en biomasa total con 0,4765 g,

lo que representa un 12 % más con respecto a los dos tratamientos que le anteceden (16 cm² y 12 cm²). De esta manera, el tratamiento al esqueje, al cual se le dejaron 20 cm² de área foliar, fue el que produjo plantas que podrían considerarse de mejor calidad, al ser la biomasa uno de los aspectos fundamentales que ayudan a describir y clasificar la calidad de las plantas (Landis et al., 2010).

El tratamiento de 8 cm² fue el que presentó la menor biomasa con 0,2273 g, y fue superado por el tratamiento de 20 cm² en más de 52 % en biomasa final. Este resultado tiene implicaciones prácticas, ya que, en la multiplicación vegetativa, uno de los principales objetivos es enviar al campo plantas con la mayor cantidad de biomasa posible para que soporten la etapa de establecimiento inicial, desde luego tomando en cuenta el sitio y el efecto que pudieran tener sobre plantas con más biomasa, principalmente en el tema de estrés hídrico.

El análisis de varianza y la prueba de medias evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en la biomasa total y sus componentes entre las distintas áreas foliares. El tratamiento de 20 cm² presentó los valores más altos para todas las variables, y el de 8 cm² es el que registró los más bajos. Los tratamientos de 12 cm² y 16 cm² indicaron diferencias significativas entre ambos sólo para la biomasa de raíz, es decir, no se esperarían diferencias significativas entre esquejes que ingresen a los túneles con área foliar de 12 cm² o 16 cm², en cuanto a la biomasa aérea y total (Cuadro 10).

De manera práctica, es importante resaltar que se evidenció una relación directa entre la producción de biomasa radicular y los tratamientos de reducción de área foliar; al respecto, el tratamiento de 20 cm² superó en 25,6% al segundo mejor tratamiento que fue el de 16 cm². La reducción del área foliar de los esquejes influyó directamente sobre la producción de raíces, explicado por la relación de más hojas, más fotosíntesis y en segunda instancia porque las hojas ejercen influencia sobre el inicio en la formación de las raíces (Hartmann et al., 2011). De ahí la importancia del área foliar mínima para que la fotosíntesis logre el desarrollo del sistema radicular y la sobrevivencia de las plantas (Gárate, 2010).

Nuestros resultados indican que, es necesario obtener un valor mínimo de reducción de área foliar, en el cual no se vea afectado el proceso de enraizamiento, la reducción a 20 cm² provocó un efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas, mayor que los otros tratamientos, principalmente por expresar mejor equilibrio entre los procesos fotosintéticos y de enraizamiento (Díaz, 1991). Resultado similar se reportó en un estudio realizado por Murrieta (2010), donde se obtuvo más de 90% de enraizamiento en esquejes de *Cedrela odorata* al utilizar 20 cm² de área foliar.

Cuadro 10. Prueba de medias sobre la biomasa final y sus componentes para cada tratamiento de reducción de área foliar en *Gmelina arborea*.

Table 10. Means test about final biomass and its components for each leaf area treatment reduction of *Gmelina arborea*.

TR	TR										
C	-0,02	C									
D	0,14	-0,11	D								
HF	0,18	-0,02	-0,05	HF							
BVTE	0,47	-0,13	0,78	0,03	BVTE						
BVA	0,44	-0,03	0,06	0,52	0,18	BVA					
BVR	0,48	-0,14	0,70	0,35	0,82	0,50	BVR				
BSR	0,45	-4,8E-03	0,03	0,43	0,12	0,89	0,43	BSR			
BSA	0,62	-0,09	0,66	0,27	0,83	0,48	0,91	0,44	BSA		
BT	0,63	-0,08	0,64	0,30	0,81	0,53	0,91	0,49	1,00	BT	
AFF	0,46	-0,08	0,08	0,56	0,21	0,72	0,55	0,72	0,58	0,61	AFF

Dónde: TR: tratamiento, C: clon, D: diámetro, HF: altura final, BVTE: Biomasa verde total de entrada, BVA: biomasa verde aérea, BVR: biomasa verde raíz, BSR: biomasa seca raíz, BSA: biomasa seca aérea, BT: biomasa total, AFF: área foliar final.

En la evaluación de la biomasa total y el material genético, se registraron diferencias significativas entre los diferentes clones (cuadro 11). Las diferencias fueron entre los clones 6 y 9 y el clon 5, siendo este último clon el de mayor media en biomasa, superando en 10,3% y 11 % a los clones 9 y 6 respectivamente. En este caso, el efecto clon influyó en los resultados, es decir, la biomasa se vio afectada por la variabilidad genética de los clones.

Resulta determinante establecer las relaciones que se presentan entre distintos parámetros involucrados en el enraizamiento de esquejes. Es por ello que se presentan las correlaciones entre variables: previo y posterior al enraizamiento (cuadro 12).

La altura final de las plantas enraizadas registró una correlación positiva, pero muy baja (0,18) con los tratamientos de reducción de área foliar, lo que sugiere que, la altura final de las plantas enraizadas no tiene relación importante con la cantidad de área foliar remanente en el esqueje, antes de ingresar a los túneles de enraizamiento. Adicionalmente, entre la altura final posterior al enraizamiento y el diámetro de los esquejes antes de ingresar a los túneles, se registró una correlación negativa y, de igual manera a la anterior, muy baja, lo que indica que, los esquejes que entran al proceso de enraizamiento con mayor diámetro no necesariamente son los que obtendrán mayor altura cuando salgan de los túneles; una relación similar se registró entre el diámetro y el porcentaje de enraizamiento; la misma fue descrita y analizada en párrafos anteriores.

Por otra parte, como era de esperarse, el diámetro presentó una relación positiva y fuerte con la biomasa verde de entrada de los esquejes, con la biomasa seca aérea y la biomasa total, lo que refleja la colinealidad, o relación directa, entre dichas variables.

Se obtuvo una correlación positiva y medianamente alta (0,52) entre la altura final y la biomasa verde de las raíces y el área foliar final (0,52 y 0,56, respectivamente). Lo anotado anteriormente refuerza la importancia de lograr plantas con un adecuado desarrollo del sistema radicular y área foliar para que logren una altura adecuada y estén más preparadas para ir al campo. Lo anterior se explica porque las hojas son las encargadas de realizar el proceso de fotosíntesis, es decir producir el alimento para la nueva planta y las de mayor desarrollo de la raíz tienen la capacidad de absorber más agua y nutrientes que potencian el crecimiento; en este caso, para la altura, en comparación con plantas de menor biomasa en raíz.

Lo anterior queda de manifiesto con la correlación registrada entre la biomasa de la raíz (verde y seco) con el área foliar final (0,72 para ambos casos), lo cual indica que el desarrollo aéreo estuvo influenciado directamente por el sistema radicular de las plantas y viceversa. Soudre, Mueras, Limache, Guerra, Mesén y Pérez (2011), probaron dos tipos de área foliar (15 y 30 cm²) obteniendo mayor producción de raíces para la especie *Cedrelinga cateniformis* con el tratamiento de mayor área foliar, resultado que coincide con el obtenido en la presente investigación.

Un comportamiento similar se presentó en el enraizamiento de *Cedrela odorata*, donde a mayor área foliar (25, 50 y 100 cm²) mayor número de raíces (Díaz, 1991). Gárate (2010) concluye, como aporte de la explicación anterior, que las hojas son las encargadas de transportar auxinas y carbohidratos hasta la base de los esquejes para iniciar con el proceso de enraizamiento; es por ello que el aumento en el área foliar podría incrementar también el desarrollo de las raíces y por ende el crecimiento de las plantas. Sin embargo, se debe tener cuidado de no excederse, en vista de que

los efectos podrían ser negativos, como por ejemplo, producir la deshidratación del material.

Se identificó un coeficiente de correlación alto (0,61), o bien una relación lineal positiva, entre el área foliar final y la biomasa total de las plantas como era de esperar. Lo anterior permite suponer que plantas con esas características pueden tener mayor capacidad de soportar las condiciones ambientales una vez trasladadas al campo, por el vigor que presentan a nivel de follaje y sistema radicular.

Asimismo, se encontró una correlación positiva (0,63) entre el tratamiento y la biomasa total. Esto significa que el área foliar de los esquejes a la hora de entrar en los enraizadores influyó en un 40 % sobre la cantidad de biomasa total. Además, se presentó un coeficiente de correlación alto (0,91) entre la biomasa verde aérea y la biomasa total, lo cual reflejó la colinealidad entre ambas variables, donde el 82,8 % de la biomasa total fue debido a la biomasa verde aérea de las plantas. Por otro lado, se dio una correlación positiva entre la biomasa verde aérea y de raíz, de 0.50, lo cual expresó un crecimiento positivo entre la cantidad de follaje que produce y el desarrollo del sistema radicular.

Conclusiones

El porcentaje de enraizamiento promedio fue 75,7 %; no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, ni entre los clones evaluados. Según el Criterio de Información de Akaike, el modelo de enraizamiento basado en el tratamiento + biomasa verde explicó mejor el porcentaje de enraizamiento.

Se registraron diferencias significativas con respecto a la altura final de los esquejes enraizados entre el tratamiento 3 y el 1 y 2. No se obtuvieron diferencias entre los tratamientos 3 y 4; es decir, el tratamiento de mayor área foliar en el esqueje no registró la mayor altura final de las plantas.

En las variables: área foliar final y biomasa total de las plantas, se registraron diferencias estadísticas entre tratamientos; el tratamiento de 20 cm² fue superior para ambas variables. La variabilidad genética de los clones influyó en cuanto al área foliar final, ya que el clon 5 presentó diferencias estadísticas significativas con respecto al 6 y 9.

Los esquejes con 12 cm² de área foliar, disminuyeron el porcentaje de enraizamiento de las plantas. Por el contrario, reducir el área foliar de los esquejes a 20 cm² aumentó el porcentaje de enraizamiento, mejoró el desarrollo de raíces y follaje durante el proceso de enraizamiento.

Para asegurar altos porcentajes de enraizamiento en las plantas de melina, los esquejes deben entrar en los enraizadores con 20 cm² de área foliar, con pesos menores a 1 gramo y diámetros menores de 3 mm para que la producción de plantas en el vivero sea más eficiente.

Para obtener el área foliar ideal en la preparación de los esquejes de melina, es recomendable capacitar al personal a cargo de la reducción del área foliar, utilizando moldes con el tamaño requerido en las primeras reducciones de las láminas foliares. Por otra parte, para la propagación vegetativa de *G. arborea* en jardines clonales, se recomienda establecer futuros ensayos sobre el periodo óptimo de enraizamiento y endurecimiento de las plantas, con el objetivo de estandarizar los procesos de enraizamiento de los esquejes de melina.

Referencias

- Alfenas, A., Zauza, E., Mafía, T. & Assis, T. (2004). Clonagem e doenças do eucalipto. Vicosa, 442.
- Ávila, C. (2013). Selección temprana de clones de *Gmelina arborea* Roxb. con base en su comportamiento fisiológico en vivero versus plantación, en el Pacífico Sur de Costa Rica (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico de Costa Rica: Cartago, Costa Rica.
- Bolaños, R. y Watson, V. (1993). Mapa ecológico de Costa Rica (Según clasificación de Zonas de vida del mundo de L. R Holdridge). San José, Costa Rica: Instituto Geográfico Nacional.
- Caballero, F. (2011). Selección de modelos mediante criterios de información en análisis factorial. Aspectos teóricos y computacionales (Tesis Doctoral). Universidad de Granada: Granada, España.
- Campos, R., Pereira, T., Saraiva, G., Graziotti, P. y De Barros, N. (2010). Influence of leaf area reduction on clonal production of *Eucalyptus* seedlings. *Cerne*, 16(3), 251-257.
- Cardoza, F. (2009). Determinación de la rentabilidad de la producción de madera de las especie *Gmelina arborea*. Economía e inversiones forestales y agroforestales en el trópico. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Díaz, E. (1991). Técnicas de enraizamiento de estacas juveniles de *Cedrela odorata* L. y *Gmelina arborea* Linn. (Tesis de maestría). CATIE: Turrialba, Costa Rica.
- Fallas, J. (2011). Camino o ruta recorrido para responder a preguntas o someter a prueba hipótesis. Universidad Nacional de Costa Rica: Heredia, Costa Rica.
- Gárate, M. (2010). Técnicas de propagación por estacas. Universidad Nacional de Ucayali: Ucayali, Perú.
- Hartmann, H., Kester, D., Davies, F. & Geneve, R. (2011). Plant propagation. Principles and practices (915 p.). Prentice Hall: Boston, United States.
- Kappelle, M. y Castro, M. (2002). Ecosistemas del Área de Conservación Osa (ACOSA). INBio: Heredia, Costa Rica.

- Lahura, E. (2003). El coeficiente de correlación y correlaciones espúreas. Pontificia Universidad Católica del Perú: Perú. Recuperado de: <http://departamento.pucp.edu.pe/economia/images/documentos/DDD218.pdf>
- Landis, T., Dumroese, R. & Haase, D. (2010). Seedling processing, storage, and outplanting. The Container Tree Nursery Manual (200 p.). Department of Agriculture Forest Service: Washington, DC, United States.
- Leakey, B., Mesén, F., Tchoundjeu, Z., Longman, A., Dick, J., Newton, A. & Muthoka, N. (1990). Low technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review*, 69(3), 247-257.
- Mesén, F. (1998). Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación (36 p.). Proyecto de Semillas Forestales-PROSEFOR, (Serie Técnica. Manual Técnico No. 30). CATIE: Turrialba, Costa Rica.
- Mesén, F., Newton, A. & Laekey, R. (1997). The effects of propagation environment and foliar area on the rooting physiology of *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) oken cuttings. *Trees*, 11(7), 404-411.
- Meza, N. y Bautista, D. (1999). Estimación del área foliar en plantas jóvenes de nispero (*Manilkara achras* [Miller] Fosberg) sometidas a dos ambientes de luz. *Bioagro*, 11(1): 24-28.
- Moraes, C., Fonseca, R. & Rui, M. (2014). Influencia das folhas no enraizamento de miniestacas de híbridos de eucalipto. *Nucleus*, 11(1), 101-106.
- Murillo, O. y Badilla, Y. (2005). Propagación vegetativa de la teca en Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica: Cartago, Costa Rica.
- Murillo, O y Badilla, Y. (2013). Índice de Productividad Clonal. Simposio Producción Clonal Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica: Cartago, Costa Rica.
- Murillo, O. y Guevara, V. (2013). Capítulo IV, Estado y manejo sostenible de los recursos genéticos forestales (66-75 pp.). Estado de los recursos genéticos forestales de Costa Rica. MINAET/FAO/CONAGEBIO. San José, Costa Rica.
- Murrieta, C. (2010). Influencia del morfotipo, fitohormona y sustrato en la propagación de estacas juveniles de *Cedrela odorata* L. (Cedro colorado), en Pucallpa, Perú (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Ucayali: Pucallpa, Perú.
- Roberto, P., Chalfun, N., Pasqual, M., Veiga, R., Pereira, G. & Mota, J. (2001). Efeito da época de estaquia e do AIB no enraizamento de estacas de figueira (*Ficus carica* L.). *Ciencia e Agrotecnologia*, 25(3), 533-541.
- Ofori, D., Newton, A., Leakey, R. & Grace, J. (1996). Vegetative propagation of *Milicia excelsa* by leafy stem cuttings: effects of auxin concentration, leaf area and rooting medium. *Forest Ecology and Management*, 84, 39-48.
- ONF. (2014). Usos y aportes de la madera en Costa Rica: Estadísticas 2014. ONF: Heredia, Costa Rica.
- Rojas, F. (2005). Principales especies forestales introducidas en Costa Rica. *Kurú: Revista Forestal (Costa Rica)*, 2(4), 1-13.
- Rojas, F., Arias, D., Moya, R., Meza, A., Murillo, O. y Arguedas, M. (2004). Manual para productores de melina (*Gmelina arborea*) en Costa Rica: Botánica y Ecología. Instituto Tecnológico de Costa Rica: Cartago, Costa Rica.
- Serrano, R. y Moya, R. (2011). Procesamiento, uso y mercado de la madera en Costa Rica: aspectos históricos y análisis crítico. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 8(21), 1-12.
- Shiembo, P., Newton, A. y Leakey, R. (1996). Vegetative propagation of *Irvingia gabonensis*, a West African fruit tree. *Forest Ecology and Management*, 87, 185-192.
- Soto, P. (2004). Reproducción vegetativa por estacas en *Amomyrtus luma* (luma), *Amomyrtus meli* (meli) y *Luma apiculata* (arrayán) mediante el uso de plantas madres jóvenes y adultas (Trabajo final Ingeniero Forestal). Universidad Austral de Chile: Valdivia, Chile.
- Soudre, M., Mueras, L., Limache, A., Guerra, H., Mesen, F. y Perez, F. (2011). Propagación Vegetativa de Tornillo *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) mediante enraizamiento de estacas de juveniles en propagador de subirrigación. *Folia Amazónica*, 20(1-2), 95-100.
- Tchoundjeu, Z., Avana, M., Leakey, R., Simons, A., Asaah, E., Duguma, B. & Bell, J. (2002). Vegetative propagation of *Prunus africana*: effects of rooting medium, auxin concentrations and leaf area. *Agroforestry Systems*, 54, 183-192.
- Villegas, J., Murillo, R., Ávila, C. y Hernández, W. (2012). Niveles óptimos de concentración de regulador de crecimiento en el enraizamiento de esquejes y preparación foliar previa a la cosecha de clones de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) en el vivero forestal del INISEFOR, La Palma de Puerto Jiménez, Golfito. (Trabajo final bachillerato). Universidad Nacional: Heredia, Costa Rica.
- Vinuesa, P. (2008). Máxima verosimilitud, estima de parámetros y selección de modelos. Universidad Autónoma de Nuevo León: Monterrey, México. Recuperado de: http://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/Cursos_PDFs/Tema7_ML_estima_de_parametros_y_seleccion_de_modelos.pdf
- Xavier, A., Wendling, A. y Da Silva, R. (2009). Silvicultura clonal: principios e técnicas. Universidade Federal de Vicosa: Vicosa, Brasil.