

EFFECTO DEL ÁCIDO INDOLBUTÍRICO (AIB) Y TIPO DE ESTACA EN EL ENRAIZADO DE *Gmelina arborea* Roxb.

EFFECT OF INDOL-BUTIRIC ACID (IBA) AND TYPE OF CUTTING ON ROOTING OF *Gmelina arborea* Roxb.

Rafael Ruiz García¹, J. Jesús Vargas Hernández^{1*}, Víctor Manuel Cetina Alcalá¹
y Ángel Villegas Monter²

¹Programa Forestal, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México, C.P. 56230. Tel. (595) 952-0200 Ext. 1469. Correo electrónico: vargashj@colpos.mx ²Programa de Fruticultura, Colegio de Postgraduados. C.P. 56230 Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

* Autor para correspondencia

RESUMEN

Con el propósito de desarrollar un sistema operativo de propagación vegetativa para *Gmelina arborea* Roxb., especie leñosa con amplio potencial en plantaciones comerciales en regiones tropicales, en este estudio se evaluó el efecto de la concentración de ácido indolbutírico (AIB) en la capacidad de enraizado de diferentes tipos de estacas juveniles de esta especie. En el ensayo se incluyeron tres tipos de estaca (apical, intermedia y basal) y cuatro concentraciones de AIB (0, 1.0, 1.5 y 2.0 mg g⁻¹), en un diseño factorial completo; se evaluó el contenido inicial de azúcares totales en los tres tipos de estaca, así como su capacidad de enraizado, brotación y características de las raíces formadas. Las estacas apicales mostraron mayor capacidad de enraizado (71.8 %) y brotación (54.9 %) que las estacas basales (43.7 y 38.3 %, respectivamente), y formaron 30 % más de raíces. La aplicación de AIB inhibió la capacidad de enraizado en las estacas apicales, pero la estimuló en las estacas intermedias y basales; el mayor porcentaje de enraizado se obtuvo en las estacas apicales sin AIB (80 %) y en las intermedias con 2.0 mg g⁻¹ de AIB (83 %). No se encontraron diferencias significativas en la concentración de azúcares totales entre los tipos de estaca. Se puede entonces implementar un sistema efectivo de propagación clonal de *Gmelina arborea* (más de 80 % de enraizado) si se aplica la concentración adecuada de AIB a estacas basales e intermedias.

Palabras clave: *Gmelina arborea*, clonación, juventud, propagación vegetativa, reguladores del crecimiento, carbohidratos.

SUMMARY

In order to develop an operational vegetative propagation system for *Gmelina arborea* Roxb., a tree species with broad potential for commercial plantings in the tropics, the effect of indol-butiric acid (IBA) level on rooting capacity of several juvenile cutting types of this species was evaluated. Three cutting positions (apical, intermediate, and basal) and four IBA levels (0, 1.0, 1.5 and 2.0 mg g⁻¹) arranged in a factorial design were included in this trial; initial carbohydrate content of cuttings, as well as rooting and sprouting capacity, and number and length of roots formed, were determined. Apical cuttings showed higher rooting (71.8 %) and sprouting (54.9 %) capacity than

the basal ones (43.7 and 38.3 %, respectively), with 30 % more roots formed. IBA application inhibited rooting capacity of apical cuttings, but stimulated it on intermediate and basal cuttings; the highest rooting percentage was obtained on apical cuttings without IBA (80 %) and on intermediate cuttings with 2.0 mg g⁻¹ IBA (83 %). No significant differences in carbohydrate content were found among cutting types. An effective clonal propagation system for *Gmelina arborea* can be established (over 80 % rooting capacity) if the adequate level of IBA is applied to basal and intermediate cuttings.

Index words: *Gmelina arborea*, cloning, juvenility, vegetative propagation, growth regulators, carbohydrate reserves.

INTRODUCCIÓN

Melina (*Gmelina arborea* Roxb.) es una especie forestal tropical nativa del Sureste de Asia, con una amplia capacidad de adaptación a diferentes condiciones edáficas y ambientales; actualmente se cultiva en cuatro continentes para la obtención de celulosa o productos de aserrío (Dvorak, 2004). En México se ha adaptado con éxito en regiones tropicales (Enríquez, 1978). Se caracteriza por ser de rápido crecimiento, con una productividad anual en plantaciones de 23 a 60 m³ de madera ha⁻¹ año⁻¹ (Juárez y Ramírez, 1985; Vázquez y Ugalde, 1995). Debido a su amplia variabilidad genética en crecimiento, calidad del tronco y productividad (Rosales *et al.*, 1992), se recomienda utilizar plantaciones clonales para obtener el máximo beneficio de domesticación y aprovechamiento intensivo de esta especie.

La propagación vegetativa juega un papel importante en los programas de plantaciones forestales comerciales como un medio de multiplicación a gran escala de genotipos superiores, ya que permite tener plantaciones con individuos

de calidad uniforme. Además, permite mantener el genotípico intacto, asegurar la conservación de germoplasma valioso y aumentar la ganancia genética al utilizar los componentes genéticos aditivos y no aditivos (Zobel y Talbert, 1988). En especies con juvenilidad prolongada, la propagación clonal acorta el periodo de multiplicación y reduce los costos de producción de planta (Chaturvedi *et al.*, 1996; Ritchie, 1996; Palanisamy y Kumar, 1997). Sin embargo, cuando este tipo de propagación se utiliza en forma masiva se requiere de mayor énfasis y cuidado en la selección de los individuos que se usarán como fuente de material vegetal. También es indispensable establecer y mantener las plantas madre en un jardín clonal para asegurar el control preciso de las condiciones ambientales durante el proceso de propagación.

En la mayoría de especies leñosas se ha encontrado que la propagación por estacas es el método de propagación más eficiente en términos de rapidez, manejo y costo (Hartmann y Kester, 1999). Una característica indispensable para el enraizado de estacas en especies leñosas es el uso de tejido juvenil (Iglesias *et al.*, 1996), por lo que es común utilizar plantas jóvenes o rebrotes juveniles de plantas de mayor edad (Chaturvedi *et al.*, 1996; Palanisamy y Kumar, 1997). Pero aún con rebrotes juveniles la capacidad de enraizado de las estacas es afectada por otros factores fisiológicos y ambientales. Entre los primeros se incluye la concentración endógena de fitohormonas, las reservas de carbohidratos y el grado de lignificación del tallo (Veierskov, 1988; Lyon y Kimuin, 1997; Mateo *et al.*, 2000), factores que están relacionados con la posición de la estaca en la planta madre o en el rebrote.

Rosales *et al.* (1992) encontraron diferencias en la capacidad de enraizado de estacas de melina tomadas de diferentes posiciones en un mismo rebrote; las estacas obtenidas del ápice tuvieron mayor capacidad de enraizado que las estacas basales. Lo anterior se puede deber al contenido de carbohidratos, de fitohormonas o de ambos, por lo que estos factores han recibido mayor atención al intentar el enraizado. La iniciación de primordios de raíz requiere de energía y los carbohidratos son la fuente principal en el caso de las estacas (Hansen *et al.*, 1978; Veierskov, 1988; Puri y Khara, 1992). Si las diferencias en la capacidad de enraizado se deben al contenido endógeno de reguladores del crecimiento, es posible reducir estas diferencias mediante la aplicación exógena de reguladores.

Con este propósito se han desarrollado diferentes productos comerciales (la mayoría de ellos contienen auxinas sintéticas) que al aplicarse a la base de las estacas promueven la formación de raíces adventicias e incrementan su capacidad de enraizado. El más eficaz es el ácido indolbutírico (AIB) (Hartmann y Kester, 1999). Nautiyal y Ra-

wat (1994) coinciden con lo anterior al encontrar que el AIB fue más efectivo que el ácido indol-acético (IAA) o que una combinación de ambos, para promover enraizado de estacas de *Tectona grandis* L. Uno de los aspectos importantes al utilizar estos productos es determinar la concentración adecuada de aplicación para cada especie y tipo de estaca.

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar la capacidad de enraizado de estacas de *Gmelina arborea* tomadas de diferente posición en los rebrotes, y determinar el efecto de diferentes concentraciones de AIB en el enraizado de dichas estacas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones experimentales

El estudio se realizó en las instalaciones de la empresa SMURFIT Cartón y Papel de México, en Candelaria, Campeche. Se instaló un invernadero con ambiente semi-controlado (temperatura, humedad relativa e intensidad luminosa). Para regular la temperatura se instalaron dos extractores de aire caliente en el frente y se colocaron dos paredes húmedas en la parte posterior del invernadero. Con el propósito de mantener la humedad relativa mayor a 80 %, se instaló un sistema de nebulización y dos tuberías con micro-aspersores en las paredes laterales; para homogeneizar la humedad de la atmósfera dentro del invernadero se instalaron dos ventiladores giratorios. Para controlar la intensidad luminosa se instaló una malla de 40 % de sombra sobre el invernadero (en el exterior) y una malla corrediza con 25 % de sombra en el interior del mismo. El manejo de las dos mallas por separado permitió controlar la intensidad luminosa en días nublados o soleados.

Origen del material vegetal

Las estacas necesarias para el ensayo se obtuvieron del jardín clonal experimental establecido por la empresa en Octubre de 1996 con semilla procedente de Guachicona, Colombia. En el área de plantaciones comerciales se seleccionó un sitio de 0.25 ha con 625 árboles. Los árboles se cortaron a una altura de 25 cm a los dos años de edad, cuando tenían un diámetro del tallo de 15 a 20 cm al nivel del suelo. El manejo de los tocones incluyó la aplicación de podas, riegos y fertilización, así como el control de plagas, enfermedades y la competencia con especies herbáceas, para propiciar la aparición de rebrotes en grandes cantidades.

Quince días antes de iniciar el experimento se aplicó una poda general a los tocones para eliminar todos los rebrotes existentes, y 5 d después se aplicó 50 g de

fertilizante (14N-00P-44K) por tocón; 10 d después se fertilizó con 50 g de urea (46N-00P-00K), con el propósito de favorecer la aparición de rebrotes vigorosos, de edad y tamaño uniforme (35 - 40 cm de longitud con tres entrenudos) para la obtención de las estacas.

Establecimiento del experimento

El efecto de la concentración de AIB y de la posición de la estaca en la capacidad de enraizado de las mismas se evaluó en un diseño experimental factorial en parcelas divididas y bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El factor "concentración de AIB" con cuatro niveles (0, 1.0, 1.5 y 2.0 mg g⁻¹) se asignó a las parcelas grandes, mientras que el factor "posición de la estaca" con tres niveles (apical, intermedia y basal) se asignó a las parcelas pequeñas. Cada unidad experimental (parcela pequeña) incluyó 27 estacas. Las concentraciones de AIB se prepararon a partir del producto comercial Radix-10000® en polvo, mediante las diluciones necesarias con talco industrial (silicato de magnesio hidratado). Así, para la concentración de 1.0 mg g⁻¹ se mezclaron 10 g de Radix-10000® con 90 g de talco industrial, y la mezcla se homogeneizó antes de aplicarla a las estacas. En el caso del tratamiento testigo (0 mg g⁻¹) sólo se aplicó talco a las estacas. Las estacas se obtuvieron de rebrotes con un diámetro basal promedio de 6.8 mm y una longitud aproximada de 35 a 40 cm (15 d después de la poda), de tocones previamente seleccionados. El factor "posición de la estaca" se refiere a la parte del rebrote de donde se obtuvieron las estacas. La posición "apical" representó el entrenudo apical del rebrote (primer entrenudo ya desarrollado); la posición "intermedia" el segundo entrenudo y la posición "basal" el tercero (Figura 1).

Los rebrotes se cortaron con tijeras de podar desinfectadas con cloro (20 %) y etanol (90 %) antes de pasar a cada tocón, y se colocaron en cubetas con agua para cubrir aproximadamente 10 cm de la base del tallo y así evitar su deshidratación. Las estacas se procesaron en un módulo con condiciones asépticas y adecuadas para evitar la contaminación y deshidratación del material. Se cortaron en forma diagonal en la parte basal y terminal con una longitud aproximada de 10 cm. En las estacas apicales se dejaron las hojas completas, ya que éstas eran pequeñas, mientras que en las intermedias y basales se eliminaron 2/3 de las hojas.

Después de cortar las estacas, la sección basal de éstas (2.5 cm aproximadamente) se sumergió lateralmente en el producto enraizador, sin impregnar el corte basal, y eliminando luego el exceso. Las estacas se colocaron en contenedores individuales de 100 cm³, en un sustrato compuesto por la mezcla de agrolita, vermiculita, turba y cáscara de

arroz en partes iguales, esterilizado previamente por vaporización (105-110 °C) durante 2 h. Las charolas y contenedores también fueron desinfectados por inmersión en una solución de cloro a 20 % durante 10 min. El ensayo se mantuvo en condiciones de invernadero con temperaturas de 28 a 32 °C y humedad relativa mayor a 80 %. Para prevenir enfermedades fungosas, dos veces por semana se hicieron aplicaciones de fungicidas, que contenían Benlate® (2 g L⁻¹, ingrediente activo: Metil -(butilcarbamol) bencimidazol-2 ilicarbonato), Captán® (2 mL L⁻¹, ingrediente activo: N-triclorometil dicarboximida) y Previcur® (1.5 mL L⁻¹, ingrediente activo: Propamocarb clorhidrato), de manera alternada. A partir del sexto día se aplicó el fertilizante foliar Gro-green® [1 g L⁻¹, coctel de macro y micro nutrientes, que contiene N (11 %), P (8 %), K (6 %), Mg (0.025 %), Fe (0.035 %), B (0.035 %), Cu (0.035 %), Zn (0.035 %), Mo (0.003 %), Co (0.002 %) y S (0.1 %), en relación p v⁻¹] y el insecticida Metamidofos® (1 g L⁻¹, ingrediente activo: Dimetil fosforoamidolio), alternados cada tercer día hasta el final del ensayo.

Al momento de establecer el ensayo se tomó una muestra de tres estacas de cada posición de los mismos rebrotes. De cada una de ellas se tomó una muestra del tallo (5 g de peso fresco) y se fijaron en etanol a 80 % a temperatura de ebullición durante 5 min; posteriormente se enfriaron a temperatura ambiente y se almacenaron a 3 °C hasta el momento en que se determinó el contenido de azúcares totales por el método de antrona (Witham *et al.*, 1971).

Variables evaluadas y análisis estadístico

A los 15 y 25 d de establecido el ensayo se extrajo al azar una estaca por unidad experimental para revisar los avances en la formación de raíces. Con base en los resultados de estos muestreos se decidió hacer la evaluación final a los 30 d de iniciado el ensayo. En ese momento se extrajeron todas las estacas del sustrato para evaluar el enraizado y la brotación aérea. Se consideró como estaca enraizada la que presentó al menos una raíz de 2 mm de largo, y como estaca brotada la que presentó al menos 1 brote aéreo de 3 mm de longitud. En las estacas enraizadas se contó el número de raíces vivas y mayores a 2 mm de longitud y se midió la longitud y el diámetro basal de la raíz más larga. En las estacas con brotación se midió la longitud y el diámetro basal del rebrote más grande. Los valores promedio del número de raíces por estaca y de las dimensiones de raíces y brotes se obtuvieron sólo en las estacas que enraizaron o brotaron, respectivamente, en cada una de las parcelas.

Las variables relacionadas con la capacidad de enraizado de las estacas se analizaron con el procedimiento ANOVA del paquete estadístico SAS (SAS, 1989), con los

valores promedio por parcela. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Previo al análisis de la varianza, las variables expresadas en porcentaje fueron transformadas con la función arco seno; posteriormente, los valores promedio fueron retransformados a las unidades originales. El contenido de azúcares totales en las estacas se analizó con el mismo procedimiento estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la concentración de AIB

La concentración de AIB no afectó ($P \leq 0.05$) el porcentaje de enraizado y brotación de las estacas, ni la longitud y diámetro de los brotes emitidos, pero sí afectó ($P \leq 0.05$) el número y longitud de las raíces adventicias formadas (Cuadro 1); las diferencias en el diámetro de las raíces fueron significativas ($P \leq 0.06$). En promedio de todo el ensayo casi 60 % de las estacas establecidas enraizaron y cerca de 50 % emitieron brotes aéreos (Cuadro 2). Estos resultados superan a los obtenidos en otras especies leñosas tropicales, como el de Díaz (Com. Personal¹), quien obtuvo un enraizado máximo de 44 % en estacas juveniles de *Gmelina arborea* con 2.0 mg g⁻¹ de AIB y una brotación máxima de 35% con 4.0 mg g⁻¹ de AIB. En *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth., Chaturvedi *et al.* (1996) obtuvieron un enraizado máximo de 60 % en estacas generadas de brotes epicórmicos al utilizar 0.5 mg g⁻¹ de AIB, pero disminuyó a menos de 30 % al aumentar la concentración a 2.0 mg g⁻¹.

El porcentaje de enraizado promedio obtenido con las concentraciones extremas de AIB varió de 47.5 % en el testigo a 67.8 % con 2.0 mg g⁻¹ de AIB, aunque estas diferencias no fueron significativas. Sin embargo, el número de raíces emitidas por las estacas fue significativamente mayor en los tratamientos con AIB (Cuadro 2). Al utilizar 2.0 mg g⁻¹ de AIB casi se duplicó el número de raíces, y la longitud promedio de éstas aumentó en 25 % con respecto a los valores observados en el testigo (Cuadro 2). Esto indica que la aplicación de AIB aceleró la formación y el crecimiento inicial de las raíces adventicias en las estacas de melina. Rosales *et al.* (1992) encontraron un aumento proporcional en el peso seco de las raíces en estacas de melina al aumentar la concentración de AIB hasta 4 mg g⁻¹, pero al rebasar esta concentración el peso seco de la raíz empezó a disminuir. En la capacidad de enraizado, Rosales *et al.* (1992) tampoco encontraron efecto significativo de la concentración de AIB. No obstante, el elevado

porcentaje de enraizado observado en ambos estudios confirma que *Gmelina arborea* es una especie leñosa relativamente fácil de enraizar a partir de brotes juveniles.

Por otro lado, el diámetro promedio de las raíces se redujo ligeramente al emplear 2.0 mg g⁻¹ de AIB; las diferencias entre tratamientos fueron significativas ($P \leq 0.06$) (Cuadro 2), lo que sugiere que hay un efecto marginal de la concentración de AIB sobre esta característica. En todos los casos las raíces emergieron de iniciales de raíz en la parte lateral de las estacas. En la emisión de brotes aéreos no se observó tendencia alguna con respecto a la concentración de AIB, al obtenerse valores similares en los tratamientos con concentraciones extremas (Cuadro 2).

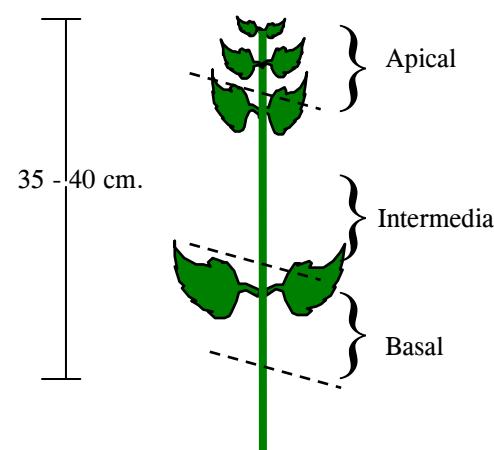


Figura 1. Rebrote de *Gmelina arborea* Roxb., que muestra los tres tipos de estacas utilizados en el estudio.

Efecto de la posición de la estaca

A diferencia de la concentración de AIB, la posición de la estaca tuvo un efecto significativo ($P \leq 0.05$) en el porcentaje de enraizado y brotación aérea, así como en el número y tamaño de las raíces y brotes emitidos (Cuadro 1); en la longitud de los brotes aéreos las diferencias fueron significativas ($P \leq 0.06$). La capacidad de enraizado de las estacas de melina disminuyó drásticamente en dirección basípeta. Las estacas tomadas de la parte apical de los brotes tuvieron más de 70 % de enraizado, casi el doble que las estacas tomadas de la parte basal, con 43.7 % (Cuadro 3). Las estacas de la parte intermedia tuvieron un porcentaje de enraizado similar al de las estacas apicales, lo que indica que el potencial de enraizado se reduce en mayor grado a partir de los entrenudos 3 y 4 desde el ápice. Sin embargo, a pesar de la menor capacidad de enraizado de

¹Díaz Maldonado, Eric Roberto (1991) Técnicas de enraizamiento de estacas juveniles de *Cedrela odorata* L. y *Gmelina arborea* Roxb. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 93 p.

Cuadro 1. Cuadrados medios obtenidos en el análisis de varianza para evaluar el efecto de la concentración de AIB y la posición de la estaca en diferentes variables relacionadas con el enraizado de estacas de *Gmelina arborea Roxb.*

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios					
		Estacas		Raíces			Brotes aéreos
		enraizado	brotación	número	longitud	diámetro	longitud
Bloques (B)	3	0.085	0.089	1.444	3.609	0.0021	7.323
Conc. (C)	3	0.124 ns	0.103 ns	19.976 **	12.916 *	0.0037 ns	3.771 ns
CxB (Error)	9	0.053	0.040	1.444	2.587	0.0011	1.949
Posición (P)	2	0.431 **	0.174 **	8.759 **	7.973 *	0.0062 **	5.068 ns
CxP	6	0.097 *	0.049 ns	1.363 ns	1.814 ns	0.0009 ns	0.324 ns
Error exp.	24	0.039	0.029	1.126	1.870	0.0012	1.673

**significativo con $P \leq 0.01$; *significativo con $P \leq 0.05$; ns = no significativo con $P = 0.05$; gl = grados de libertad.

Cuadro 2. Valores medios por concentración de AIB para las variables relacionadas con la capacidad de enraizado de *Gmelina arborea Roxb.*

Concentración AIB (mg g ⁻¹)	Estacas		Raíces			Brotes aéreos	
	enraizado (%)	brotación (%)	número	longitud (cm)	diámetro (mm)	longitud (cm)	diámetro (mm)
0.0	47.5 a [†]	41.8 a	3.6 b	9.5 b	1.6 a	3.7 a	2.1 a
1.0	65.7 a	58.3 a	5.6 a	11.2 ab	1.7 a	4.2 a	2.0 a
1.5	56.5 a	41.8 a	6.1 a	11.2 ab	1.4 a	3.3 a	1.9 a
2.0	67.8 a	53.4 a	6.6 a	12.0 a	1.3 a	2.9 a	1.8 a
C.V. (%) [†]	22.3	22.1	19.4	12.4	23.7	36.4	20.4
DSH [‡]	25.6	22.8	1.5	2.0	0.4	1.8	0.6
Promedio	59.4	48.8	5.4	11.0	1.5	3.5	1.9

[†]Coeficiente de variación; [‡]Diferencia significativa honesta ($P \leq 0.05$); [†]Valores promedio en una misma columna seguida por diferente letra indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre ellas.

las estacas basales, los valores obtenidos en ellas (cerca de 45 %) son aceptables en un programa operativo de clonación. De hecho, estos valores son mayores que los observados en especies de coníferas leñosas como *Juniperus horizontalis L.*, *Cupressus serpentine L.*, *Cupressus macrocarpa Hartw.*, *Thuja orientalis L.* y *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murr.) Parl., que se propagan con fines ornamentales (Mateo *et al.*, 2000).

Las estacas de los entrenudos apicales también mostraron mayor porcentaje de brotación que las estacas de los entrenudos basales, aunque en este caso las diferencias fueron moderadas (54.9 % vs. 38.3 %) (Cuadro 3). Una respuesta similar se observó en el número y la longitud de raíces, así como en la longitud y diámetro de los brotes emitidos. Las estacas de los entrenudos apicales formaron mayor cantidad de raíces y éstas fueron de mayor tamaño, al igual que los brotes, que en las estacas de entrenudos basales (Cuadro 3). La única excepción fue el diámetro de raíces, en donde las estacas apicales y basales tuvieron un valor similar (Cuadro 3).

El mayor número y tamaño de las raíces y brotes aéreos observados en las estacas apicales podrían estar asociados con la mayor velocidad de enraizado y brotación de este tipo de estacas, en comparación con los otros tipos. Dado que los datos finales se tomaron a los 30 d de establecido el experimento, es posible que el porcentaje de enraizado se hubiera incrementado posteriormente, en especial en las estacas intermedias y basales; además de la menor longitud de raíces (Cuadro 3), que es indicador de un enraizado más tardío, al momento de tomar los datos se observaron algunas estacas vivas con el hinchamiento característico previo a la emisión de raíces. Rosales *et al.* (1992) no encontraron cambios después de 30 d en la capacidad de enraizado de estacas de melina tomadas de diferentes posiciones del rebrote, aunque en ese estudio las estacas se movieron del módulo de propagación al vivero. Por otro lado, conforme aumenta la estadía en el módulo de propagación aumentan los riesgos, los costos de mantenimiento y la heterogeneidad en la calidad del material propagado. Por tanto, la velocidad de enraizado es un factor importante en un programa operativo de propagación vegetativa; en este caso, las estacas apicales mostraron esa característica favorable.

Cuadro 3. Valores medios por tipo (posición) de estaca para las variables relacionadas con la capacidad de enraizado de *Gmelina arborea Roxb.*

Posición	Estacas		Raíces			Brotes aéreos	
	enraizado (%)	brotación (%)	número	longitud (cm)	diámetro (mm)	longitud (cm)	diámetro (mm)
Apical	71.8 a [†]	54.9 a	6.3 a	11.8 a	1.3 b	4.0 a	2.5 a
Intermedia	62.7 a	53.2 a	5.3 b	10.6 ab	1.7 a	3.7 a	1.7 b
Basal	43.7 b	38.3 b	4.8 b	10.5 b	1.5 ab	2.9 a	1.6 b
DSH [‡]	15.1	13.5	0.9	1.2	0.3	1.1	0.3

[†]Diferencia significativa honesta ($P \leq 0.05$); [‡]Valores promedio en una misma columna seguida por diferente letra indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre ellas.

Existen diferentes factores que podrían estar involucrados en la mayor capacidad de enraizado de las estacas apicales, como el grado de juvenilidad, lignificación del tejido, el nivel endógeno de fitohormonas o el contenido de reservas. William y Michael (1991) e Iglesia (1992) coinciden en que las estacas juveniles producen raíces más fácilmente que las estacas más lignificadas. De manera similar, Chaturvedi *et al.* (1996) consideran que la disminución en la capacidad de enraizado de las estacas maduras de *Acacia auriculiformis* puede deberse al aumento de células del esclerénquima, las que forman una barrera para la iniciación de las raíces.

En cambio, Reuveni *et al.* (1990) encontraron que en *Eucalyptus camaldulensis* Dehn las estacas delgadas y succulentas obtenidas de la parte alta del seto tienen menor capacidad de enraizado que las obtenidas de la base. Veierskov (1988) describe una relación positiva del contenido de carbohidratos con la capacidad de enraizado y el número de raíces formadas en estacas de diferentes especies leñosas y herbáceas, y agrega que es común que exista un gradiente en la concentración de carbohidratos desde el ápice hasta la base de los tallos. Por otro lado, William y Michael (1991) encontraron que la concentración óptima de AIB varió de acuerdo al tipo de estaca en *Corylus avellana* L., lo que sugiere diferencias en el nivel endógeno de fitohormonas.

Interacción entre la concentración de AIB y el tipo de estaca

A pesar de que la sola concentración de AIB no tuvo efecto significativo en la capacidad de enraizado de las estacas, la interacción concentración de AIB x posición de la estaca sí mostró efecto significativo ($P \leq 0.05$) en el porcentaje de estacas enraizadas (Cuadro 1). Es decir, que los tipos de estaca respondieron de manera diferente a las concentraciones de AIB utilizadas. Es importante considerar que esta respuesta diferencial se presentó únicamente en el porcentaje de enraizado, ya que en las demás variables la interacción no fue significativa.

Las estacas apicales alcanzaron mayor porcentaje de enraizado (80 %) sin la aplicación de AIB, y la capacidad de formación de raíces se redujo gradualmente conforme aumentó la concentración de AIB, hasta 67 % al utilizar 2.0 mg g⁻¹ (Figura 2). En cambio, en las estacas intermedias y basales la concentración de AIB estimuló la formación de raíces (Figura 2). En las estacas intermedias el porcentaje de enraizado aumentó de 40 % sin la aplicación de AIB hasta 83 % al aplicar 2.0 mg g⁻¹; en las estacas basales se observó una tendencia similar, aunque en este caso no se distinguió una concentración óptima, ya que la aplicación de 1.0 a 2.0 mg g⁻¹ AIB aumentó en más del doble la capacidad de enraizado de las estacas con respecto al testigo (Figura 2).

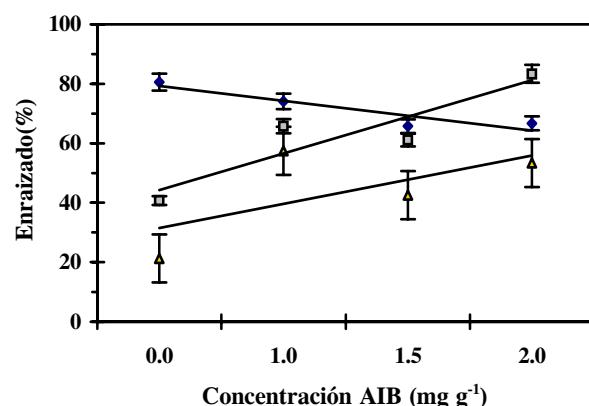


Figura 2. Interacción de la concentración de ácido indol-bútrico (AIB) y el tipo (posición) de la estaca sobre la capacidad de enraizado de estacas de *Gmelina arborea Roxb.* Las líneas muestran la tendencia obtenida por regresión lineal con los datos para cada tipo de estaca.

Los resultados muestran que la concentración adecuada de aplicación exógena de AIB para favorecer la formación de raíces en estacas de *Gmelina arborea* dependió de la posición de la estaca en el rebrote. La concentración requerida aumentó gradualmente del ápice a la base del rebrote, lo que confirma el gradiente sugerido por William y Michael (1991) en *Corylus* sp. Moore (1984) mostró que las auxinas son sintetizadas en el meristemo apical y translocadas hacia

la base de la planta, y dicho gradiente puede explicar el hecho de que las estacas apicales hayan necesitado menor aplicación exógena de AIB para enraizar.

De acuerdo con el presente estudio, las estacas de melina tomadas de los entrenudos apicales de rebrotes juveniles no requieren la aplicación exógena de AIB o requieren concentraciones más bajas que las evaluadas aquí, mientras que las estacas tomadas de entrenudos intermedios requieren una concentración cercana a 2.0 mg g^{-1} de AIB. En el caso de las estacas procedentes de entrenudos basales es posible que la concentración óptima de AIB sea mayor a 2.0 mg g^{-1} , pues aunque el porcentaje máximo de enraizado que se obtuvo fue relativamente elevado (cercano a 60 %), aún existe potencial para aumentarlo. En estudios posteriores sería recomendable explorar el uso de concentraciones mayores de AIB en este tipo de estacas para verificar tal posibilidad y determinar con precisión la concentración óptima requerida.

A pesar de que no se determinó la concentración óptima requerida por las estacas basales, los resultados obtenidos son de gran importancia desde el punto de vista práctico, pues muestran que es posible elevar la capacidad de propagación clonal de los rebrotes de *Gmelina arborea* hasta valores superiores a 80 % al aplicar la concentración adecuada de AIB a cada tipo de estaca. Aún en las estacas basales, que tienen un bajo porcentaje de enraizado en ausencia de AIB exógeno, la capacidad aumentó en más del doble con la aplicación de esta substancia.

Concentración de azúcares totales en las estacas

No se encontraron diferencias significativas entre los tipos de estaca en la concentración de azúcares totales en el tallo de los rebrotes de *Gmelina arborea*. La concentración promedio de azúcares en todas las estacas muestradas fue de $5.0 \pm 0.17 \text{ mg g}^{-1}$. El coeficiente de variación en esta característica fue superior a 25 %, lo cual indica que existe una amplia variabilidad en la concentración de azúcares totales entre los rebrotes, y que se requiere utilizar un mayor tamaño de muestra (más de 10 estacas de cada tipo) o una técnica de análisis más precisa para poder detectar una tendencia clara en esta característica. Los resultados muestran que la concentración de azúcares totales no fue un factor determinante en la capacidad de enraizado de los diferentes tipos de estacas.

Dada la interacción entre los tipos de estaca y la concentración de AIB aplicada, puede inferirse que el factor determinante en la capacidad de enraizado fue el gradiente endógeno de fitohormonas existente en los rebrotes. Sin embargo, es posible que los carbohidratos también se rela-

cionen con la habilidad de las estacas para iniciar los primordios de raíz. Se ha encontrado que la aplicación de auxinas incrementa el movimiento de fotoasimilados al sitio de iniciación de primordios de raíz (Puri y Khara, 1992); de aquí la importancia de la conversión del almidón en azúcares, ya que la sacarosa y la glucosa son carbohidratos que favorecen el enraizado (Hansen *et al.*, 1978). Para corroborar estas inferencias es necesario determinar los niveles endógenos de carbohidratos y fitohormonas con técnicas analíticas precisas.

CONCLUSIONES

Es factible implementar con éxito un programa masivo de propagación clonal de *Gmelina arborea* con estacas de rebrotes juveniles. La capacidad de enraizado de las estacas de esta especie disminuye drásticamente en dirección basípeta del rebrote. Las estacas apicales presentaron una capacidad de enraizado superior a 70 %, con un mayor número y tamaño de raíces y brotes que en las estacas basales. Esto indicó que las estacas apicales tuvieron mayor velocidad de enraizado, característica importante en un programa operativo de propagación vegetativa, porque reduce los tiempos de producción del material clonal en el vivero.

La aplicación de AIB tuvo un efecto inhibitorio en el enraizado de las estacas apicales, pero estimuló la formación de raíces en las estacas intermedias y basales. Entonces, la concentración óptima de AIB que se debe utilizar en las estacas de melina en un sistema operativo varía en función de su posición en el rebrote, desde 0 mg g^{-1} en las estacas apicales hasta 2.0 mg g^{-1} en las estacas intermedias y basales. El número y longitud de raíces emitidas aumentó con la aplicación de AIB, por lo que el uso de esta auxina aceleró la formación y crecimiento inicial de las raíces adventicias en las estacas. En cambio, la concentración de azúcares totales no fue un factor determinante en la capacidad de enraizado de los diferentes tipos de estaca utilizados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la empresa Smurfit Cartón y Papel de México, S.A. y en especial al M.C. Luis Abelardo Sánchez Rejón, por todas las facilidades y el apoyo proporcionado para la realización de este estudio en sus instalaciones de Escárcega, Campeche.

BIBLIOGRAFÍA

- Chaturvedi O P, A N Jha, D K Das (1996) Vegetative propagation of *Acacia auriculiformis* by stem cuttings. Forest, Farm, and Community Tree Research Reports. Vol. 1. Department of Forestry, Rajendra Agricultural University. Bihar, India. pp:41-44.
- Dvorak W S (2004) World view of *Gmelina arborea*: opportunities and challenges. New For. 28:111-126.

- Enríquez Q M (1978)** Plantaciones con *Gmelina arborea* en el sureste de México para la producción de celulosa. In: Memoria de la Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. SARH. Pub. Esp. No. 13. México D. F., México. pp:110-117.
- Hansen J, L Strongquist, A Ericsson (1978)** Influence of irradiance on carbohydrate content and rooting of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings. *Plant Physiol.* 61:975-979
- Hartmann H T, D E Kester (1999)** Propagación de Plantas: Principios y Prácticas. Traducción al Español por Antonio Marino. 7a reimpreación, Ed. CECSA. México D. F., México. pp:219-363.
- Iglesia de la G J (1992)** Arboricultura General. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. pp:32-43.
- Iglesias G L, M Alarcón B, J A Prieto R (1996)** La propagación vegetativa de plantas forestales. *Ciencia For.* Méx. 21:15-41.
- Juárez G V M, H Ramírez M (1985)** Crecimiento de *Gmelina arborea* Roxb (L.) en cuatro espaciamientos. *Ciencia For.* Méx. 10:33-45.
- Lyon J P, L C F Kimuin (1997)** The effect of nodal position and genetic factors on rooting of *Acacia mangium* cuttings from coppice re-growth. *J. Trop. For. Sci.* 9:554-557.
- Mateo S J J, J Vargas H, M C López P, J Jasso M (2000)** Enraizado de estacas juveniles en cinco especies de coníferas ornamentales. *Ciencia For.* Méx. 23:29-38.
- Moore G M (1984)** Mechanisms of hormone action in plants. *Proc. Intnati. Plant Propagators' Soc.* 34:79-90.
- Nautiyal S, M S Rawat (1994)** Macropropagation of teak (*Tectona grandis* L.F.). *Indian For.* 120:147-151.
- Palanisamy K, P Kumar (1997)** Effect of position, size of cuttings and environmental factors on adventitious rooting in Neem (*Azadirachta indica*). *For. Ecol. Manag.* 98:277-280.
- Puri S, A Khara (1992)** Influence of maturity and physiological status of woody cuttings: Limits and promises to ensure successful cloning. *Indian For.* 118:560-572.
- Reuveni O, L Fanger-Vexeler, D Heth (1990)** The effect of rooting environment, kind and source of cuttings on rooting of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn cuttings. *Commonwealth For. Rev.* 69:181-189.
- Ritchie G A (1996)** Operational use of vegetative propagation in forestry: world overview of cloning and bulking. In: National Proceedings, Forest and Conservation Nursery Associations. T D Landis, D B South (tech. coords.), Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-389. USDA For. Serv., Pacific Northwest Research Station. Portland Oregon, USA. pp:192-197.
- Rosales L, M Kane, B J Jurado (1992)** Resultados de tres ensayos de propagación vegetativa de *Gmelina arborea* Roxb. Smurfit Cartón de Venezuela, Informe de investigación No. 9 División Forestal, Apartado 216, Acarigua, Venezuela. 12 p.
- SAS (1989)** SAS/STAT user's guide, Version 6. Fourth edition. Statistical Analysis System Institute. Cary, NC, USA. 846 p.
- Vázquez C W, L A Ugalde A (1995)** Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Informe Técnico No. 256; convenio de cooperación proyecto forestal Chorotega (IDA/FAO/Holanda) Proyecto Madeleña -3, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 31 p.
- Veierskov B (1988)** Relations between carbohydrate and adventitious root formation. In: Adventitious Root Formation in Cuttings, T D Davis, B E Haissig, N Sankhla (eds). Dioscorides Press. Portland, Oregon, USA. pp:70-78.
- William M P, A R Michael (1991)** Propagation of filberts by stem cuttings. *Comb. Proc. Intnati. Plant Propagators' Soc.* 41:214-218.
- Witham F H, D F Blaydes, R M Devlin (1971)** Experiments in Plant Physiology. Uan Nonstrand Reinhold Company. New York, USA. 245 p.
- Zobel B J, J Talbert (1988)** Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. Traducción al Español por Manuel Guzmán Ortiz. Editorial LIMUSA. México D. F., México. 505 p.