*Evaluación del efecto de dosis de ácido indol butírico y tipos de explantes en el enraizamiento de estacas uninodales de jaúl (*Alnus acuminata *ssp* arguta*) (Schlectendal) (Furlow), en Cartago, Costa Rica.*

Fernando Mata* y Braulio Vílchez**

Se estudió el efecto de la dosis de ácido indol butírico (AIB) en diferentes tipos de explante de Alnus acuminata *spp* arguta*. Los ensayos se ejecutaron en el vivero forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Se empleó un diseño de bloques al azar, con cuatro repeticiones para medir el efecto de tres tratamientos de área foliar en el enraizamiento de estacas. En el primer ensayo se usó arena como sustrato y la dosis de 2000 ml/l de AIB que dieron los mejores resultados en ensayos anteriores. Se sembraron en una cámara de enraizamiento nueve estacas en cada unidad experimental para un total de 108. En el segundo ensayo se utilizó el mismo diseño experimental con cinco repeticiones y un total de 135 estacas. En ambos ensayos se empleó material de rebrotes de plantones. A las cinco semanas se evaluaron tres características: estacas con hojas verdes, con hojas secas y con hojas amarillas. Se anotó el número de estacas enraizadas, muertas, en latencia y número y largo promedio de raíces por estaca enraizada. El análisis se efectuó usando el paquete estadístico SAS aplicando la prueba de F para el análisis de variancia y la prueba de rango múltiple de Duncan.*

Se obtuvo que las estacas de jaúl sin área foliar no logran enraizar. No hubo diferencias significativas entre las estacas con área foliar del 30% y del 100%, aunque el mayor porcentaje de enraizamiento (77,7%) fue para las de 100% de área foliar. Las estacas con 30% de área foliar obtuvieron el mayor número y largo promedio de raíces. No se encontró relación directa y proporcional entre el área foliar y el número y largo promedio de raíces adventicias. Los resultados de enraizamiento pueden aumentar conforme el perfeccionamiento del control de las variables como: nivel de sustrato, humedad constante, colocación adecuada de las estacas en el sustrato.

* Ingenierio forestal, MIRENEM.

** Departamento de Biología, ITCR.

Introducción

Uno de los factores que influyen sobre el crecimiento de estacas, es la presencia de hojas (Guevara, 1963) y de por lo menos una yema como lo menciona Hartmann y Kester (1989). Se consideró que las sustacias que se producen en estas yemas y que provocan el efecto de enraizamiento son de tipo de hormonal, las cuales son transportadas vía floema a la base de las estacas para estimular el crecimiento (Hartmann y Kester,1989).

Por otro lado la presencia de hojas en las estacas, ejercen una fuerte influencia estimulante sobre la iniciación de raíces. esto probablemente se debe a los carbohidratos traslocados de las hojas y otras sustancias (Hartmann y Kester, 1989).

En la mayoría de los ensayos de enraizamiento de estacas se han obtenido resultados positivos cuando se han empleado áreas foliares entre un 30 y 50% (Mesén, 1992). tomando en cuenta la información anterior se evaluaron en el presente trabajo tres tratamientos de área foliar; 0%, 30% y 100%, obteniéndose resultados positivos y esperados como se ha demostrado con otras especies en los ensayos de enraizamiento.

El objetivo de la práctica fue el de determinar el efecto del área foliar en el enraizamiento de estacas de jaúl *Alnus acuminata* spp arguta.

Material y métodos.

El trabajo se realizó en el invernadero del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) en el segundo semestre de 1994. Se utilizó una cámara de enraizamiento de irrigación diseñada por Howland y modificado por Leakey y Logman (1988).

Se empleó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Como sustrato usó arena y la dosis de 2000 mg/l de A.I.B. Además, se emplearon tres tratamientos de área foliar en las estacas: 0%, 30%, 100%.

En la cámara de enraizamiento se demarcaron cuatro repeticiones y cada uno de ellos se dividió en tres secciones donde fueron ubicados en forma aleatoria los tres tratamientos. en cada unidad experimental se establecieron nueve estacas u observaciones por lo que en todo el ensayo se utilizaron 108 estacas.

El modelo estadístico general para este ensayo se resume en la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = u + R_i + A_j + RA_{ij} + e_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = Valor observado de la variable "Y" en la i-ésima repetición de la j-ésima área foliar.

u = La media general de "Y".

R_i = El efecto de la i-ésima repetición.

A_j = El efecto de la j-ésima repetición.

RA_{ij} = El efecto de la interacción repetición - área foliar de la i-ésima repetición y la j-ésima área foliar.

e_{ij} = Error del experimento

Las hipótesis planeadas en este ensayo fueron las siguientes:

H_o = El enraizamiento de estacas de jaúl no depende del área foliar de la estaca.

CUADRO 1. Fuentes de variación y grados de libertad para el análisis de variancia del efecto del área foliar en estacas de Jaúl.

Fuentes de variación		Grados de libertad
Repetición	(R-1)	3
Tratamiento	(T-1)	2
Error	(R-1)·(T-1)	6
Total		11

H_a = El enraizamiento de estacas de jaúl sí depende del área foliar de la estaca

En el Cuadro 1 se muestran las fuentes de variación y los grados de libertad para el análisis de variancia entre enraizamiento y área foliar.

Se efectuó una validación del primer ensayo con el propósito de obtener datos más confiables sobre el efecto del área foliar en el enraizado de estacas.

En este experimento se utilizó un diseño estadístico de bloques completos al azar y se probaron los mismos tres tratamientos: 0%, 30% y 100% de área foliar. Se mantuvo el sustrato de arena y se aplicó una sola dosis (2000 mg/l) de A.I.B. Se emplearon cinco repeticiones por lo que la cámara se dividió en cinco secciones y éstas a la vez se subdividieron en tres parcelas, donde se ubicaron los tratamientos en forma aleatoria.

En cada unidad experimental se colocaron nueve estacas para un total de 135. El modelo estadístico para este ensayo fue el siguiente:

$$Y_{ij} = u + R_i + A_j + e_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = Valor observado de la variable "Y" en la i-ésima repetición de la j-ésima área foliar.

u = La media general de "Y".

R_i = El efecto de la i-ésima repetición.

A_j = El efecto de la j-ésima área foliar.

e_{ij} = Error del experimento

La hipótesis planteada en este ensayo fue la siguiente:

H_o = El enraizamiento de estacas de jaúl sí depende del área foliar.

H_a = El enraizamiento de estacas de jaúl no depende del área foliar.

En el Cuadro 2 se resumen las fuentes de variación y los grados de libertad para el análisis de variancia del efecto del área foliar en el enraizamiento de estacas de jaúl para el segundo ensayo.

Para la preparación y establecimiento de estacas en ambos ensayos se empleó material de rebrotes de plantones. Se seleccionaron estacas de manera que el área foliar fuera muy similar, para estimar el área foliar

se dibujó el tamaño de la hoja y se midió mediante un curvímetro. Se empleó una muestra y se calculó el tamaño promedio del área de las hojas que posteriormente se emplearon en la preparación de estacas.

Todo el proceso de corta de ramas de rebrotes, medición de área y preparación de estacas; se efectuó bajo sombra y durante las horas de la mañana. Para los dos ensayos se consideró un tiempode evaluación de cinco semanas. Se tomaron observaciones de color de follaje cada tres días con el propósito de controlar la posible muerte de estacas, así como las que tenían posibilidades de enraizar; para ello se anotó tres características: estacas con hojas verdes, secas y con hojas amarillas. Además, se llevó el control del número de estacas enraizadas, muertas y en latencia (estacas verdes pero que no han formado tejido cicatrizal), número y largo de raíces por estaca enraizada.

El análisis de información se efectuó utilizando el paquete estadístico S.A.S., aplicando la prueba "F" para el análisis de variancia y la prueba de rango múltiple de Duncan para las respectivas comparaciones de medias.

CUADRO 2. Fuentes de variación y grados de libertad para el análisis de variancia del efecto del área foliar en estacas de Jaúl (segundo ensayo).

Fuentes de variación		Grados de libertad
Repetición	(R-1)	4
Tratamiento	(T-1)	2
Error	(R-1)·(T-1)	8
Total		14

CUADRO 3. Análisis de variancia para el porcentaje de enraizamiento de estacas de jaúl según su área foliar, en Cartago, Costa Rica.

Fuentes de variación	g.l.	CME	Fc	Pr > F
Repetición	3	120,00	0,56	0,06058 NS
Tratamiento	2	648,01	3,57	0,09540 NS
Error	6	181,71		

NS: No significativo al 5 %.

CUADRO 4. Prueba de rango múltiple de Duncan para las diferentes áreas foliares y su porcentaje de enraizamiento en estacas de jaúl, en Cartago, Costa Rica.

Area foliar (%)	Enraizamiento (%)
30	24,99 a*
100	16,69 ab
0	0,00 b

* Los tratamientos seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas según pruebas de rango múltiple de Duncan.

Resultados

En el primer experimento los porcentajes de enraizamiento por área foliar los resultados fueron para el área de un 100%, 30% y 0%, de un 19%, 22% y 0% respectivamente. Se efectuó un análisis de variancia que se representa en el cuadro 3 donde se muestra que no hubo diferencias significativas entre repeticiones y tratamientos.

En la prueba de rango múltiple de Duncan (cuadro 4) se observaron diferencias significativas entre los grupos de medias. El porcentaje de enraizamiento más alto se obtuvo para los tratamientos de estacas con 30% y 100% de área foliar respectivamente.

Los resultados del cuadro 4 confirman los resultados de experimentos anteriores donde se ha probado que el área foliar es necesaria para obtener enraizamiento (Vargas, 1992); (Díaz, 1991) y Paniagua (1992). El mayor porcentaje de estacas enraizadas correspondió al de 30% de área foliar. La presencia de hojas en las estacas es un factor que influye en el enraizamiento debido a que las hormonas se sintetizan en las hojas contribuyendo a la formación de raíces (Hartmann y Kester, 1989).

Para las variables del número y largo promedio de raíces los análisis de variancia (Cuadros 5 y 6) mostraron que no existieron diferencias significativas entre repeticiones ni en los tratamientos.

El cuadro 6 detalla que no se dieron diferencias significativas en el largo promedio de raíces según sea el área foliar usada.

Las pruebas de rango múltiple de Duncan (cuadro 7), mostraron que el número promedio de raíces de 8,5 y 7,9 para los

tratamientos de 100% de hoja y 30% de hoja no presentaron diferencias significaticas.

Para el segundo ensayo de validación del porcentaje de enraizado, se obtuvo en el análisis de variancia (Cuadro 8) que no hubo diferencias significativas entre las repeticiones. Para los tratamientos de área foliar sí se presentaron diferencias altamente significativas.

Las pruebas de rango múltiple de Duncan, no determinaron diferencias significativas entre el 30% y 100% de área foliar contra el porcentaje de enraizamiento (cuadro 9).

Los datos obtenidos de esta validación demuestran que estadísticamente no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos del 30% y 100% de área foliar. Sí se puede observar que en la segunda prueba los resultados fueron mejores que en el primer ensayo. Para el tratamiento del 100% de hojas se obtuvo un incremento de enraizamiento del 32% y para el tratamiento de 30% de hoja, el incremento fue de 58,89%.

La explicación de lo anterior se debe a que se depuró la técnica de enraizado, con un mayor cuidado en la colocación de las estacas en el sustrato y mayor homogeneidad en los niveles de humedad. La colocación del sustrato fue más uniforme. Todo esto hizo que los porcentajes de enraizamiento para el 100% y 30% de área foliar fueran muy similares, 78,2% y 76% respectivamente. Vargas (1982) y Paniagua (1992) con *Eucaliptus deglupta* y Díaz (1991) con *Cedrela odorata* y *Gmelina arborea*, encontraron un efecto positivo de la presencia de hojas sobre el enraizamiento. En este ensayo se empleó un tamaño promedio de hoja de 35 cm^2, 11 cm^2 para 30% de hoja y 35 cm^2 para 100% de área foliar. Estos datos no concuerdan con lo expresado por Leakey (1982) que encontró en estacas de *T. scleroxylon*, el mayor porcentaje de enraizamiento en tratamientos de 0, 5, 50 y 100 cm^2 se obtuvo con el área foliar de 50 cm^2. Sin embargo, en otro experimento de Díaz (1991) con tres tratamientos de área foliar (25, 50, 100 cm^2) encontró que las estacas con 100 y 50 cm^2 fueron las que obtuvieron los más altos porcentajes de enraizamiento (60 y 55%) respectivamente.

El análisis de variancia para el número y largo promedio de raíces adventicias (cuadros 10 y 11) mostró que

CUADRO 5. Análisis de variancia para el número promedio de raíces de jaúl según su área foliar, en Cartago, Costa Rica.

Fuentes de variación	g.l.	CME	Fc	Pr > F
Repetición	3	29,85	0,81	0,53 NS
Tratamiento	2	163,58	2,42	0,16 NS
Error	6	124,58		

NS: No significativo al 5 %.

CUADRO 6. Análisis de variancia para el largo promedio de raíces de jaúl según su área foliar, en Cartago, Costa Rica.

Fuentes de variación	g.l.	CME	Fc	Pr > F
Repetición	3	52,00	0,42	0,7471 NS
Tratamiento	2	163,58	1,31	0,3365 NS
Error	6	124,58		

NS: No significativo al 5 %.

CUADRO 7. Prueba de rango múltiple de Duncan para el número del largo promedio de raíces adventicias en estacas con diferente área foliar del jaúl en Cartago, Costa Rica.

Area foliar (%)	Número (x)	Largo (x)
100	8,50 a*	10,26 a*
30	7,87 a	11,75 a
0	0 b	0 b

* Los tratamientos seguidos por letras indican diferencias significativas según la prueba de rango múltiple de Duncan.

CUADRO 8. Análisis de variancia de largo de raíz y porcentaje de enraizamiento de estacas de jaúl según su área foliar, en Cartago, Costa Rica.

Fuentes de variación	g.l.	CME	Fc	Pr > F
Repetición	3	152,28	0,41	0,7948 NS
Tratamiento	2	9801,26	26,61	0,0003 *
Error	6	368,33		

NS: No significativo.

* Significativo al 1%.

no hubo diferencias significativas entre repeticiones, pero con respecto a los tratamientos existieron diferencias altamente significativas.

CUADRO 9. Prueba de rango múltiple de Duncan por tratamiento para los porcentajes de enraizamiento de estacas de jaúl, en Cartago, Costa Rica.

Area foliar (%)	Enraizamiento (%)
30	77,77 a*
100	75,55 a
0	0,00 b

* Los tratamientos seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas según pruebas de rango múltiple de Duncan. Valor alfa=0,05.

CUADRO 10. Análisis de variancia para el número promedio de raíces adventicias de estacas de jaúl en Cartago, Costa Rica.

Fuentes de variación	g.l.	CME	Fc	Pr > F
Repetición	4	23,05	1,38	0,3240 NS
Tratamiento	2	292,52	17,46	0,00012 *
Error	8	16,75		

NS: No significativo al 5%.

* Significativo al 1%.

CUADRO 11. Análisis de variancia para el largo promedio de raíces adventicias de estacas de jaúl en Cartago, Costa Rica.

Fuentes de variación	g.l.	CME	Fc	Pr > F
Repetición	4	96,43	3,52	0,0614 NS
Tratamiento	2	338,26	12,37	0,00036 *
Error	8	27,43		

NS: No significativo.

* Significativo al 1%.

CUADRO 12. Prueba de rango múltiple de Duncan por tratamiento para el número y largo promedio de raíces de estacas del jaúl en Cartago, Costa Rica.

Area foliar (%)	Número de raíces	Largo de raíces
100	13,86 a	15,00 a*
30	12,53 a	13,40 a
0	0 b	0 b

* Los tratamientos seguidos por letras indican diferencias significativas según la prueba de rango múltiple de Duncan. Valor de Alfa 5%.

Para los tratamientos del 30 % y 100 % de área foliar evaluados mediante el número y largo promedio de raíces adventicias (cuadro 12) las pruebas de rango múltiple de Duncan no determinaron diferencias significativas.

El tratamiento de 30 % de área foliar obtuvo mejor respuesta al número y crecimiento de raíces, la diferencia fue de 1.6 raíces más para este tratamiento y de 1.8 mm más de longitud. Estos datos no dieron diferencias significativas y son contrarios a lo encontrado por Díaz (1991) en experimentos de enraizamiento de estacas de *Gmelina arborea y Cedrela odorata*, donde se obtuvo una relación directamente proporcional entre el promedio del número de raíces y el área foliar, es decir; a mayor área foliar mayor número de raíces.

Sin embargo estadísticamente no hay diferencias significativas entre los tratamientos del 30% y 100%. Los resultados anteriores aseguraron que probablemente se da un equilibrio entre los procesos fotosintéticos y de respiración de la estaca, los cuales provocaron el desarrollo y crecimientos de raíces, logrando un porcentaje de enraizamiento muy buenas (77,77%) y (75,55%) respectivamente.

Conclusiones

1. Las estacas de jaúl sin área foliar no logran enraizar.
2. No se obtuvo diferencias significativas entre las estacas con área foliar del 30% y del 100%.
3. Las estacas con 100% de área foliar presentaron el mayor porcentaje de enraizado (77,77%).
4. La estacas con el 30% de área foliar obtuvieron el mayor número y largo promedio de raíces (13,86 y 15 mm) respectivamente.
5. No existe relación directa y proporcional entre el área foliar, número y largo promedio de raíces adventicias.
6. Los resultados de enraizamiento pueden aumentar conforme al perfeccionamiento del control de las variables como: nivel de sustrato, humedad constante,

colocación adecuada de las estacas en el sustrato, etc.

Recomendaciones

1. El uso de estacas con 30% de área foliar permite mejor manipuleo en el establecimiento del ensayo y mejores respuestas al enraizado.
2. Se deben probar diferentes áreas foliares para uniformar con mayor precisión, cuál es la más adecuada.
3. El área foliar de las estacas no debe quedar en contacto con el sustrato (arena), porque el follaje puede secarse.
4. Se sugiere que en futuros ensayos en la cámara de enraizado se controle el nivel del sustrato y la humedad.

Bibliografía

Álvarez, V. *Estudios Forestales de jaúl Alnus jorullensis en Costa Rica*. IICA. 1956.

Ortiz, E. Apuntes del curso *Métodos de investigación*. Cartago, C.R. I.T.C.R. 10 p. 1989.

Díaz, M.E.. *Técnicas de enraizado de estacas juveniles de Cedrella odorata y Gmelina arbórea Linn.* Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 93 p. 1991

Easley, D. *Técnicas en el potencial de enraizamiento de Eucalyptus grandis.* Cantón de Colombia. Informe de investigación No. 122 sp. 1989.

Freese, F. *Tendencia estadísticos elementales para técnicos forestales. Traducido por el Centro Regional de Ayuda Técnica. A.I.D.* Departamento de Estado de U.S.A. Editorial Publicidad Artística S.A. Ciudad de México. México 103 p. 1970.

García, V. *Enraizado de estacas de 6 especies forestales con tres niveles de ácido indol-butírico.* Tesis. Mg. Turrialba, C.R. CATIE, 44 p. 1974.

Gardner, J. *Manual del injertador.* Lérida Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. p.p 70- 76. 1983.

Haissig, B.E. "Influences of auxins and auxin synergists on adventiti root primordium initiation and development." *New Zealand Journal of Forestry Science* (No. 2) 4 (2): 311 - 323. 1974.

Hartmann y Kester, E. *Propagación de plantas. Principios y prácticas*. 3 ed. Distrito Federal, Cía Editorial Continental S.A. 760 p. 1989.

Instituto Geografico de Costa Rica. *Hoja Cartográfica.* No. 3455 IV, Istaru.

Leakey, R.; Mesén, F. *Métodos de propagación vegetativa en árboles tropicales. Enraizamiento de estacas suculentas.* Turrialba, Costa Rica. CATIE, 18 p. 1989.

López, L. *Programa clonal de mejoramiento de árboles de Eucalyptus grandis para Cartón de Colombia.* Informe de investigación No. 7 p. 1988.

Mesén, F. "Conservación de la diversidad genética de especies latifoliadas centroamericanas: Esfuerzo conjunto CAMCORE CATIE USID." In *Noticiero Mejoramiento Genético y Semillas Forestales para América Central.* No. 5 Agosto 1990. CATIE, Turrialba, C.R. Programa Producción Forestal y Agroforestal. p.p 15- 18. 1990.

Montiel, L. "Desarrollo anatómico de los meristemos y tallos de *Alnus jorullensis* H.B.K." *Revista Biología Tropical* 24 (1): 85- 93. 1976.

Morales, D. "Descripción de la semilla de *Alnus acuminata*." Apuntes de curso *Semillas Forestales*. DIF. ITEC. sp. 1990.

Murillo, O. *Informe sobre ensayo de propagación vegetativa de jaúl. (Alnus acuminata H.B.K.)* I.T.C.R. Cartago, C.R. 14 p. sin publicar. 1984.

Ortiz, E. *Guía general para diseñar y desarrollar un experimento.* Cartago, C.R. Departamento de Ingeniería Forestal. 2 p. 1989.

Padilla. *Influencia de dos hormonas en el enraizamiento de estacas semi-leñosas de aliso Alnus jorullensis H.B.K.* Perú. Nota Técnica No. 8 C.I.C.A.F.O.R. Cooperación Técnica Belga. 35 p. 1987.

Paniagua, V.R. *Propagación vegetativa por estacas de ramas de árboles adultos de Eucalyptus deglupta.* Blume. Informe de

Práctica de Especialidad. Cartago, Costa Rica. I.T.C.R. 85 p. 1992.

Rojas, F. Apuntes del curso *Semillas forestales*. Cartago, C.R. Departamento de Ingeniería Forestal. I.T.C.R. 1989.

Steel, R.; Torrie, E. *Bioestadística: Principios y procedimientos*. México, Mc Garw Hill. 622 p. 1989.

Valerio, J. "Prueba preliminar de propagación por ácodos en jaúl *Alnus acuminata* H.B.K." *Tecnología en marcha.* Vol. 9 No. 1 Cartago, Costa Rica. 4 p. 1987.

Vargas, R. *Estudios sobre el enraizamiento de Eucalyptus deglupta. BLUME.* Tesis. MG. Turrialba, C.R. CATIE. 85 p. 1982.

Vastey, J. *Estudios sobre propagación de especies forestales por estacas.* Tesis Mg. Agr. Turrialba, C.R. IICA. 92 p. 1962.

Weaver, R. *Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura.* México. Editorial Trillas. 54 p. 1976.

Zanoni, C. *Propagación vegetativa por estacas de ocho especies forestales*. Tesis. Mag. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 102 p. 1975