

241

PROYECTO MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL

COMPENDIO DE PUBLICACIONES 1984-1996

VOLUMEN 2

TABLA DE CONTENIDO

	Página
Tabla de contenido	i
Presentación	viii
Cómo citar los documentos en este compendio	ix
VOLUMEN 1	
1. VARIACION GENETICA DE ESPECIES FORESTALES MADERABLE PLANTADAS EN AMERICA CENTRAL	1
<i>Acacia mangium</i>	
Salazar R, Mesén F 1990 Análisis de procedencias de <i>Acacia mangium</i> en Costa Rica. <i>Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales</i> (España) 0: 213-216.	3
<i>Albizia guachapele</i>	
Paterson RW, Cornelius JP, Baeza O 1996. Comportamiento en Costa Rica de procedencias de <i>Albizia guachapele</i> y <i>Bombacopsis quinata</i> . <i>Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales</i> , Costa Rica, 13.	7
<i>Alnus acuminata</i>	
Cornelius JP and Masís JA 1995. Los riesgos del traslado de semilla forestal: el caso de <i>Alnus acuminata</i> . <i>Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales</i> , Costa Rica, 10: 13-15.	11
Cornelius JP, Mesén JF, Corea EA and Henson M 1996. Variation in growth and form of <i>Alnus acuminata</i> Kunth. in Costa Rica. <i>Silvae Genetica</i> (Alemania) 45(1). 11p.	15
<i>Bombacopsis quinata</i>	
Mesén F, Cornelius JP, Corea E 1991. Programa de mejoramiento y conservación de <i>Bombacopsis quinata</i> Jacq. Dugand en Costa Rica. <i>Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales</i> , Costa Rica, 6: 14-18.	27
Paterson RW, Cornelius JP, Baeza O 1996. Comportamiento en Costa Rica de procedencias de <i>Albizia guachapele</i> y <i>Bombacopsis quinata</i> . <i>Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales</i> , Costa Rica, 13.	7
<i>Cedrela odorata</i>	
Cornelius JP 1995. Atlántico vs. Pacífico: distinción importante en la escogencia de fuentes de semilla forestal en América Central. <i>Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales</i> , Costa Rica, 12: 6-8.	33
Cornelius JP, Hernández M, Newton A, Watt A 1995. Resistance to the mahogany shoot borer: results of research at CATIE, 1990-1995. <i>En Actas, II Semana Científica del CATIE, 4-6 Diciembre 1995. Turrialba, Costa Rica</i> , pp. 92-94	37
Newton AC, Cornelius JP, Mesén JF, Leakey RRB 1995. Genetic variation in apical dominance of <i>Cedrela odorata</i> seedlings in response to decapitation. <i>Silvae Genetica</i> (Alemania), 44: 2-3. pp.146-150.	41
<i>Cordia alliodora</i>	
Boshier DH 1984. The international provenance trial of <i>Cordia alliodora</i> (R&P) Oken in Costa Rica. <i>In Proceedings of a Joint Work Conference on Provenance and Genetic Improvement strategies in Tropical forest Trees</i> . Barnes RD and Gibson GL (eds). IUFRO Conference, Mutare, Zimbabwe, 9-14 April, 1984. Commonwealth Forestry Institute, Oxford (UK) and Forest Research Centre, Harare (Zimbabwe), pp 168-185.	47
Boshier DH, Mesén F 1987. Availability of seed of <i>Cordia alliodora</i> for progeny testing. <i>FAO Forest Genetic Resources</i> (Rome), Information No. 15: 30-35.	65

- Boshier DH, Mesén F 1989. Breeding population of *Cordia alliodora* in Costa Rica. *In* Conference on Breeding Tropical Trees: Population Structure and Genetic Improvement Strategies in Clonal and Seeding Forestry (1988, Pattaya, Thailand). *Proceedings IUFRO Conference*. Gibson GL, Matheson AC (eds). Arlington, Va., USA, Winrock International. pp. 406-407. 71
- Cornelius JP 1995. Atlántico vs. Pacífico: distinción importante en la escogencia de fuentes de semilla forestal en América Central. *Boletín Mejoramiento Genético Forestal*, Costa Rica, 12: 6-8. 33
- Henson M 1996. Analysis of provenance and progeny trials of *Cordia alliodora* (R. and P.) Oken. in Costa Rica. MSc. Thesis, University of Oxford. Abstract pp. 2. 159p. 73
- Cupressus lusitanica***
- Cornelius JP, Apedaille L, Mesén JF 1996. Provenance and family variation in height and diameter growth of *Cupressus lusitanica* Mill. at 28 months in Costa Rica. *Silvae Genetica* (Alemania), 45. 7p. 75
- Cornelius JP, Baeza O 1995. Familias superiores de *Cupressus lusitanica* en Costa Rica. *Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales*, Costa Rica, 11: 7-10. 63
- Eucalyptus deglupta***
- Cornelius JP, Corea EA, Hernández M 1994. Avances en el mejoramiento genético de *Eucalyptus deglupta*. *Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales*, Costa Rica, 8: 9-11. 67
- Cornelius JP, Baeza O, Masís J 1995. A morphological genetic marker for early growth in *Eucalyptus deglupta* Blume. *En Actas, II Semana Científica del CATIE*, 4-6 December 1995. Turrialba, Costa Rica, pp.7-9 91
- Cornelius JP, Corea EA, Mesén JF 1995. Genetic variation in height growth and leaf colour of *Eucalyptus deglupta* Blume at ages up to 16 months in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* (Holanda), 75: 49-59. 95
- Gmelina arborea***
- Valerio J 1986. Evaluación de nueve procedencias de *Gmelina arborea*. MSc. Tesis UCR/CATIE Resumen, pp.vi-vii. Summary, pp.viii-ix. 92p. 109
- Boshier DH, Hellin J 1989. Breeding population of *Gmelina arborea* in Costa Rica. *In* Proceedings IUFRO Conference on Breeding Tropical Trees: Population Structure and Genetic Improvement Strategies in Clonal and Seeding Forestry 1988, Pattaya, Thailand. Gibson GL, Matheson AC (eds.) Arlington, Va., USA, Winrock International. pp 408-409. 113
- Cornelius JP, Hernández M 1995. Variación genética en crecimiento y rectitud del fuste en *Gmelina arborea* en Costa Rica. *Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales*, Costa Rica, 10: 9-13. 115
- Pinus caribaea***
- Bird NM 1984. Variation in volume over bark, stem straightness and longest internode length at five years of age between ten provenances of *Pinus caribaea* Morelet and two provenances of *Pinus oocarpa* Schiede in Costa Rica. *In* Proceedings of a Joint Work Conference on Provenance and Genetic Improvement Strategies in Tropical Forest Trees. IUFRO Conference, Mutare, Zimbabwe, 9-14 April, 1984. Barnes RD and Gibson GL (eds). Commonwealth Forestry Institute, Oxford (UK) and Forest Research Centre, Harare (Zimbabwe). pp 159-167. 119

<i>Pinus oocarpa</i>	
Bird NM 1984. Variation in volume over bark, stem straightness and longest internode length at five years of age between ten provenances of <i>Pinus caribaea</i> Morelet and two provenances of <i>Pinus oocarpa</i> Schiede in Costa Rica. <i>In Proceedings of a Joint Work Conference on Provenance and Genetic Improvement Strategies in Tropical Forest Trees. IUFRO Conference, Mutare, Zimbabwe, 9-14 April, 1984.</i> Barnes RD and Gibson GL (eds). Commonwealth Forestry Institute, Oxford (UK) and Forest Research Centre, Harare (Zimbabwe). pp 159-167.	119
<i>Pinus patula ssp. tecunumanii</i>	
Corea EA 1989. Evaluación de un ensayo de procedencias de <i>Pinus oocarpa</i> -p. <i>patula ssp. tecunumanii</i> en cuatro sitios de Costa Rica. M.Sc. Tesis. Sistema de Estudios de Posgrado Universidad de Costa Rica - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Resumen ix-x, summary xi-xii, 179p.	129
Corea EA, Mesén JF, Cornelius JP 1993. <i>Pinus tecunumanii</i> , una alternativa para la reforestación en sitios tropicales degradados. <i>Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales</i> , Costa Rica, 7: 3-5.	133
Cornelius JP, Hernández M y Apedaile L 1994. Nueva información sobre procedencias de <i>Pinus tecunumanii</i> . <i>Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales</i> , Costa Rica, 9: 4-6.	137
<i>Swietenia macrophylla</i>	
Newton AC, Leakey RRB, Powell W, Chalmers K, Waugh Z, Tchoundjeu Z, Mathias PJ, Alderson PG, Mesén F, Baker P, Ramnarine S 1993. Domestication of mahoganies. <i>In Proceedings, IUFRO/Edinburgh Centre for Tropical Forests Workshop Meeting: 'Tropical Trees: Potential for Domestication. Rebuilding Forest Resources'</i> . Edinburgh, Scotland, 24-28 August 1992. pp.256-266	141
Newton AC, Leakey RRB, Mesén F 1993. Genetic variation in mahoganies: its importance, capture and utilization. <i>Biodiversity and Conservation</i> , 2: 114-126.	153
Newton AC, Baker P, Ramnarine S, Mesén F, Leakey RRB 1993. The mahogany shoot-borer: prospects for control. <i>Forest Ecology and Management</i> , 57:301-328.	167
Cornelius JP, Hernández M, Newton A, Watt A 1995. Resistance to the mahogany shoot borer: results of research at CATIE, 1990-1995. <i>En Actas, II Semana Científica del CATIE</i> , 4-6 December 1995. Turrialba, Costa Rica. pp 92-94.	195
Newton AC, Cornelius JP, Mesén JF, Corea EA, Watt AD. Genetic variation in host susceptibility to attack by the mahogany shoot borer, <i>Hypsipyla grandela</i> (Zeller). Unpublished manuscript. 18p.	199
Newton AC, Cornelius JP, Mesén JF, Corea EA, Watt AD 1996. Variation in attack by the mahogany shoot borer, <i>Hypsipyla grandela</i> (Zeller), in relation to host growth and phenology. <i>Agriculture and Forest Entomology</i> . In press. 28p.	217
Newton AC, Cornelius JP, Baker P, Gillies ACM, Hernández M, Ramnarine S, Mesén JF, Watt AD 1996. Mahogany as a genetic resource. <i>Biological Journal of the Linnean Society</i> . In press. 27p.	245
<i>Vochysia guatemalensis</i>	
Cornelius JP, Masís JA 1994. Avances en el mejoramiento genético de <i>Vochysia guatemalensis</i> . <i>Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales</i> , Costa Rica, 9: 11-15.	273
Cornelius JP, and Mesen JF. Genetic variation in growth, stem and foliar mineral content in <i>Vochysia guatemalensis</i> . Unpublished manuscript. 23p.	279
Documentos sobre varias especies	
Boshier DH, Mesén F 1986. Proyecto de mejoramiento de árboles del CATIE: estado de avance y resultados principales. <i>Primer Congreso Forestal Nacional, Costa Rica</i> . 18p.	303

Boshier DH, Mesén F 1987. Proyecto mejoramiento genético de árboles. <i>Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales</i> , Costa Rica, 1: 9-11.	321
Cornelius JP 1990. Procuran avance genético forestal. Suplemento Agropecuario. <i>La Nación</i> , Costa Rica, martes 10 de abril, 1990, 1p.	325
Mesén F 1990. Resultados de ensayos de procedencias en Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica, Informe Técnico 156, 42p.	327
Corea EA, Cornelius JP, Mesén JF 1992. Resultados del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE, sus aplicaciones y efectos esperados. <u>En Resumen de Ponencias: II Congreso Forestal Nacional, San José, Costa Rica</u> , pp. 4-6.	365
Cornelius JP 1996. Mejoramiento genético forestal para finqueros pequeños y medianos. Y. Resultados y experiencias de 17 años de investigación del CATIE en Costa Rica. <i>Simposio: Avances en la producción de semillas forestales en América Latina, Managua, Nicaragua del 16-20 de Octubre, 1995</i> , 12p.	385

VOLUMEN 2

2. PROPAGACION VEGETATIVA DE ESPECIES FORESTALES MADERABLES PLANTADAS EN AMERICA CENTRAL	397
<i>Albizia guachapele</i>	
Mesén F, Newton AC, Leakey RRB, Grace J Vegetative propagation of <i>Albizia guachapele</i> (Kunth) Dug: the influence of stockplant growth conditions on rooting physiology. Unpublished manuscript, 10p.	399
<i>Araucaria hunsteinii</i>	
Mesén F 1988. Propagación vegetativa de <i>Araucaria hunsteinii</i> mediante enraizamiento de estacas. Lic. Agr. Tesis. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. Resumen pp. 1-3, conclusiones pp. 52-54, 77p.	409
<i>Cedrela odorata</i>	
Díaz ERA, Salazar FR, Mesén F 1991. Enraizamiento de estacas juveniles de <i>Cedrela odorata</i> L. <i>Silvoenergía</i> , Costa Rica, 51, 4p.	417
<i>Cordia alliodora</i>	
Mesén F, Newton AC, Leakey RRB, Grace J Rooting physiology of <i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pavon) Oken: the influence of stockplant growth conditions and cutting origin. Unpublished manuscript, 30p.	421
Mesén F, Newton AC, Leakey RRB, Grace J Vegetative propagation of <i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pavon) Oken. II The effect of IBA concentration and propagation medium on rooting physiology. Unpublished manuscript, 13p.	453
Mesén F, Newton AC, Leakey RRB, Grace J Vegetative propagation of <i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pavon) Oken. III The effects of propagation environment and foliar areas on rooting physiology. Unpublished manuscript, 12p.	465
<i>Gmelina arborea</i>	
Díaz Maldonado ERA, Salazar FR, Mesén F 1991 Enraizamiento de estacas juveniles de <i>Gmelina arborea</i> Linn. <i>Silvoenergía</i> , Costa Rica, 49, 4p.	477
Documentos sobre varias especies	
Mesén F 1993. Vegetative Propagation of Central American Hardwoods. Ph.D. Thesis, University of Edinburgh, Institute of Terrestrial Ecology. Edinburgh, Scotland. 231p. Anexes.	481
Leakey RRB, Mesén F, Tchoundjeu Z, Longman KA, Dick JMcP, Newton AC, Matin A, Grace J, Munro RC, Mutoka PN 1990. Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. <i>Commonwealth Forestry Review</i> 69(3): 247-257.	497
Mesén F, Leakey RRB, Newton AC 1992. Hacia el uso de la silvicultura clonal por el pequeño finquero. <i>El Chasqui</i> , Costa Rica, 28: 6-18.	509

- Mesén F, Newton AC, Leakey RRB 1992. Low technology vegetative propagation of tropical trees: experience from Central America. *In Proceedings of IUFRO Conference: Resolving Tropical Forest Resource Concerns through Tree Improvement, Gene Conservation and Domestication of New Species*. October 9-18, 1992, Cartagena and Cali, Colombia. pp. 311-315. 523
- Mesén F, Dvorak WS 1992. Seed collections and vegetative propagation of threatened multipurpose species in Central America. Prepared for Network/Workshop Meeting of the Board on Science and Technology Development, National Research Council. CATIE, Turrialba, Costa Rica, April 1992. 11p. 529
- Newton AC, Mesén F, Dick JMcP, Leakey RRB 1992. Low technology propagation of tropical trees: rooting physiology and its practical implications. *In Proceedings, Mass production technology for genetically improved fast growing tree species*. AFOCEL, Nangis, France. pp. 417-423. 541
- Mesén JF, Leakey RRB, Newton AC, Corea EA, Cornelius JP 1993. Propagación vegetativa de especies forestales: resultados y aplicaciones. *Resúmenes de la Semana Científica, Vol. 2: Manejo Integrado de Recursos Naturales*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp. 97-98. 549
- 3. MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL: ASPECTOS ESTRATEGICOS Y TEORICOS 553**
- Mesén F 1985 Proyecto de mejoramiento de árboles de valor económico. *El Chasqui* Costa Rica, 8: 3-6. 555
- Corea EA, Mesén F, Cornelius JP 1992. El Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE y su papel en la Región Centroamericana. Preparado para la *II Convención Centroamericana sobre Semillas Forestales, ESNACIFOR, Siguatepeque, Honduras, 1-7 Marzo de 1992*. pp. 25-31. 559
- Corea EA, Mesén F, Cornelius JP 1992. El Proyecto Mejoramiento Genético Forestal y su papel en América Central. *El Chasqui*, Costa Rica 28:19-24. 567
- Cornelius JP, Mesén JF, Corea EA 1992. Mejoramiento Genético Forestal en América Central: estrategias apropiadas, preocupaciones, y el camino por recorrer. *El Chasqui*, Costa Rica, 28: 3-5. 573
- Cornelius JP, Corea EA, Mesén F 1992. Estrategias, actividades y perspectivas del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE. *En Resumen de Ponencias. II Congreso Forestal Nacional, San José, Costa Rica*, pp. 1-3. 577
- Cornelius JP 1993. Sistemas de mejoramiento genético forestal utilizados en América Central: ¿Cuánta ganancia genética podemos esperar? *En Proceedings, II Central American Convention on Forest Seed, Siguatepeque, Honduras, 1-7 March, 1992*, pp. 32-49. 581
- Mesén F, Boshier DH, Cornelius JP 1993. Genetic improvement of trees in Central America with particular reference to Costa Rica. *In Proceedings of IUFRO/Edinburgh Centre for Tropical Forests Workshop Meeting: 'Tropical Trees: Potential for Domestication. Rebuilding Forest Resources'*. Edinburgh, Scotland, 24-28 August 1992, pp. 250-255.. 599
- Newton AC, Cornelius JP, Corea EA 1995. Sustainable management and conservation of forest genetic resources in Central America. pp 301-316 in Monge Nájera, J. (ed.) *Sustainable Development: the view from the less industrialized countries*. UNED, Costa Rica. 400p. 607
- Cornelius JP 1995. El proyecto mejoramiento genético forestal del CATIE : 17 años de investigación al servicio de finqueros pequeños y medianos. Suplemento: Año de la semilla forestal. *La República*, Costa Rica, domingo, 3 de Setiembre, 1995. 1p. 623

Comelius JP 1996. Mejoramiento genético forestal para finqueros pequeños y medianos. II. Necesidades actuales y futuras en América Central. <i>Simposio: Avances en la producción de semillas forestales en América Latina, Managua, Nicaragua del 16-20 de Octubre, 1995</i> . 7p.	625
Comelius JP 1994. Heritabilities and additive genetic coefficients of in forest trees. <i>Canadian Journal of Forest Research</i> 24: 372-379.	633
Comelius JP 1994. The effectiveness of plus-tree selection for yield. <i>Forest Ecology and Management</i> 67:22-34.	641
Hamilton C, Chandler L, Brodie A, Comelius JP 1996. A financial analysis of a small scale <i>Gmelina arborea</i> Roxb. improvement programme in Costa Rica. Unpublished manuscript, 20p.	653
4. SERIE "INFORMACIÓN BÁSICA SOBRE LAS ESPECIES DEL PROYECTO MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL DEL CATIE"	673
<i>Acacia mangium</i>	675
<i>Albizia guachapele</i>	677
<i>Alnus acuminata</i>	681
<i>Araucaria hunsteinii</i>	685
<i>Bombacopsis quinata</i>	687
<i>Cedrela odorata</i>	691
<i>Cordia alliodora</i>	693
<i>Cupressus lusitanica</i>	697
<i>Eucalyptus deglupta</i>	701
<i>Eucalyptus grandis</i>	705
<i>Eucalyptus saligna</i>	709
<i>Eucalyptus urophylla</i>	713
<i>Gmelina arborea</i>	715
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	719
<i>Pinus patula</i> ssp. <i>tecunumanii</i>	723
<i>Swietenia macrophylla</i>	727
5. MISCELANEO	729
Comelius JP 1991. Nombre científico del pochote: una reseña histórica. <i>Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales, Costa Rica</i> , 6:4-7.	731
Corea EA, Mülller E, Comelius JP (no creditado) 1994. Semillas superiores - mejores plantaciones. Consideraciones para la selección de la fuente de semilla en proyectos de reforestación, COSEFORMA-CATIE, Costa Rica, 5p.	735
Castro C, Baeza O, Corea EA, Comelius JP 1994. Germinación, repique y cuidado en el vivero de <i>Eucalyptus deglupta</i> . <i>Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales, Costa Rica</i> , 8: 7-8.	739
Comelius JP 1995. Nativas versus especies exóticas: ¿una distinción de importancia en la selección de especies? <i>Revista Forestal Centroamericana</i> , 10, Año 3: 11-15.	741
Comelius JP, Paterson RW, Navarro C 1995. Caoba. <i>Revista Forestal Centroamericana</i> , 14, Año 4: información del afiche.	747

PRESENTACION

En este documento, se pretende reunir, de manera accesible y conveniente, los artículos científicos y técnicos producidos por el Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE en las últimas dos décadas. Se incluyen artículos clasificados en cinco categorías. Los artículos en la sección 1 constituyen uno de los principales productos del Proyecto: información genética sobre especies maderables plantadas en América Central. La sección 2 contiene artículos sobre la propagación vegetativa, herramienta básica del mejoramiento genético forestal, y una área en la cual el CATIE, mediante el Proyecto, ha asumido un papel pionero en América Central. Los artículos en la sección 3 se dirigen a aspectos más generales del mejoramiento y cubren una gama de temas de interés regional y general. En la sección 4, se presentan una serie de resúmenes de las características de algunas de las especies trabajadas por el Proyecto, elaboradas durante 1992 como respuesta a múltiples peticiones por parte de los usuarios del Proyecto, pero no diseminados o dados a conocer hasta ahora. Finalmente, en la sección 5 se presentan artículos misceláneos.

El trabajo del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE durante el período señalado y cubierto por los artículos fue posibilitado por el apoyo financiero de los gobiernos británico, estadounidense, noruego y suizo, así como la dedicación de todo el personal actual y pasado del mismo.

The objective of this volume is to bring together, in a convenient and accessible format, the scientific and technical articles produced by the personnel of CATIE's Tree Improvement Project in the last two decades. Five categories of article are included. Those in section 1 constitute one of the main products of the Project: genetic information on timber species planted in Central America. Section 2 is made up of articles on vegetative propagation, a basic tool of tree improvement, and one in which CATIE, through the Project, has assumed a pioneering role in Central America. The articles in section 3 cover more general aspects of tree improvement, including subjects of both regional and wider interest. Section 4 is comprised of a series of short monographs on characteristics of some of the species with which the project has worked. Prepared during 1992 in response to demands from the Project's users, these short articles are being distributed generally here for the first time. Finally, in section 5, a number of articles on miscellaneous forestry themes are included.

The Tree Improvement Project's work during the period covered by these articles was made possible by the financial support of the governments of Norway, Switzerland, the United Kingdom, and the United States of America, as well as by the dedication of all the personnel, past and present, of the Project.

Jonathan Cornelius
Lider del Proyecto 1993-96
Project Leader 1993-1996

Cómo citar los artículos

Los documentos deben citarse según como aparecen en tabla de contenido. Para citar el compendio en sí, la forma correcta es: Proyecto Mejoramiento Genético Forestal (CATIE). 1996. Compendio de publicaciones, 1984-1996. CATIE; Turrialba, Costa Rica.

How to cite the articles

The correct citation form for each article included is as given in the detailed contents pages. To cite the compendium as a whole, the correct form is: Proyecto Mejoramiento Genético Forestal (CATIE). 1996. Compendio de publicaciones, 1984-1996. CATIE; Turrialba, Costa Rica.

2. PROPAGACION VEGETATIVA DE ESPECIES FORESTALES MADERABLES PLANTADAS EN AMERICA CENTRAL

Vegetative propagation of *Albizia guachapele*: the influence of stockplant growth conditions on rooting physiology

J.F. Mesén¹, A.C. Newton², R.R.B. Leakey³, J. Grace⁴

1 Proyecto Semillas Forestales, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba 7170, Costa Rica.

2 Institute of Terrestrial Ecology (ITE), Bush Estate, Penicuik, Midlothian, EH26 0QB, Scotland, U.K.

3 Current address: International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), P.O. Box 30677, Nairobi, Kenya.

4 Department of Forestry and Natural Resources, The University of Edinburgh, Kings Building, Mayfield Road, Edinburgh EH9 3JU, Scotland, U.K.

Summary. The effect of the interactions between the light environment and nutrients (NPK) applied to *Albizia guachapele* stockplants on anatomic characteristics and rooting ability of subsequent cuttings in non-mist propagators was investigated in glasshouses at the Institute of Terrestrial Ecology, Edinburgh. The study involved the determination of the gas exchange and chlorophyll fluorescence of both stockplants and cuttings during the propagation period. Stockplant growth decreased with increasing irradiance and increasing nutrient supply, and a similar effect was found in the subsequent rooting of cuttings. Rooting percentage decreased from 53.8% with low irradiance/low nutrients to 11.2% with high light/high nutrients. Cuttings from high light/high nutrient stockplants were much shorter than those from any other treatment, which negatively affected their rooting ability, probably through its effects on the cuttings reserves. No differences were found between treatments in their chlorophyll fluorescence ratios during propagation, suggesting that *A. guachapele* cuttings are not only dependant on current photosynthesis for an adequate rooting, but also on their initial carbohydrate content. It was concluded that *A. guachapele* can be easily propagated with the non-mist propagation system utilized in this study. Growing stockplants under low irradiance and low nutrient supply produced longer cuttings with a higher rooting ability.

Introduction

Albizia guachapele (Leguminosae; Mimosaceae) is a fast-growing, drought-tolerant tree with large excurrent crown and good quality timber, now fairly rare in natural conditions and with a severely depleted gene pool (Tree Improvement Project 1987). A native of the dry tropical forest from 0 to 800 m a.s.l., it occurs naturally in Central America, Colombia and Venezuela. It reportedly fixes nitrogen, and is used as fuelwood, posts, live fences and timber (Tree Improvement Project 1987).

A number of genetic improvement programmes using traditional techniques are currently in progress with this species (Mesén *et al.* 1993). However, it is now widely appreciated that vegetative propagation and clonal selection offer the means to achieve the greatest genetic gains in the shortest possible time. In order to incorporate this species into a clonal programme, techniques had to be developed or adapted to vegetatively propagate the best ideotypes in an efficient way and at a cost that is affordable by small forestry development programmes in the Central American region.

Successful propagation of a species by rooting leafy stem cuttings depends on many interacting factors, both pre and post severance. The physiological status of the stockplant has been shown to exert a strong influence on the subsequent root formation in stem cuttings (Moe and Andersen 1987; Menzies 1992). The importance of nutrients and irradiance applied to the stockplants is widely recognised, but their effects on subsequent rooting is controversial (Moe and Andersen 1988).

Increased irradiance has been shown to inhibit or delay rooting, promote rooting or have no effect (Moe and Andersen 1988). However, in a wide number of plants, low stockplant irradiance has enhanced rooting ability (Eliasson and Brunel 1980; Hansen and Eriksen 1974; Hansen *et al.* 1978; Leakey and Storeton-West 1992; Moe and Andersen

1988). Moe and Andersen (1988) presented a response curve of stockplant irradiance on rooting which appears to be valid for most plant species. The curve indicates that very low stockplant irradiances result in poor rooting, with improved rooting as irradiance increases, until an optimum is reached. Above this optimum, rooting ability again declines.

The effect of stockplant nutrition on rooting is also the subject of controversy. However, results appear to be more consistent than those of irradiance; in general, it appears that stockplants which are fertilized suboptimally for shoot growth also result in cuttings that root best (Moe and Andersen 1988).

The reasons for these responses are certainly complex and are probably the result of interactions between many factors, with optima varying between species. The effects of photosynthesis are obviously important, through its effects on the initial carbohydrate content of the cuttings. It is now widely recognized that the ability of the cuttings to supply carbohydrates, either through stored reserves or through current photosynthesis, to the area where roots appear seem to be very important for root development (Moe and Andersen 1988). In an experiment with *Triplochiton scleroxylon*, Leakey and Storeton-West (1992) attributed the poor rooting found in cuttings from stockplants grown at high irradiances to suppressed photosynthetic ability in the shoots, resulting from end product inhibition. In the same experiment, the addition of fertilizer to stockplants seemed to lower the photosynthetic ability of the shoots and hence the rooting ability of cuttings. Hansen and Ericksen (1974) also suggested that supraoptimal carbohydrate contents in *Pisum* stockplants grown at high irradiance were responsible for the lack of root formation found in subsequent cuttings.

This experiment investigated the effects of the interactions between the light environment and nutrients (NPK) applied to *Albizia guachapele* stockplants on anatomic characteristics and rooting ability of subsequent cuttings. This involved the determination of the gas exchange and chlorophyll fluorescence of both stockplants and cuttings during the propagation period.

Materials and methods

Plants used in the experiments were derived from the open pollinated progeny of plus trees selected by the CATIE Tree Improvement Project in Costa Rica. Plants were grown in plastic pots (90 mm; this and subsequent figures refer to diameter of the top of the pot) in 7:3:1 peat-sand-loam mixture in tropicalized glasshouses at ITE. The glasshouses were maintained at a temperature of 25-30 °C, with a daylength of 19.5 hours throughout the year and a relative humidity of around 60%. Supplementary Mercury vapour (MBFRU-400 watts) lighting maintained a red:far red ratio of around 1.2 and a photosynthetically active radiation (PAR) always in excess of 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, even at night during winter months when these lights were the only source of irradiance. PAR increased to 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ during bright summer weather and to 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ during bright winter weather. Vigorous seedlings were potted into bigger containers (190 mm), cut back to maintain a supply of coppice shoots and used as stockplants for building up clonal populations. Rooted cuttings were potted into plastic pots (90 mm) containing the standard mixture described above, and routinely repotted into increasingly larger containers (127 mm and 150 mm) as the plants grew bigger.

For this experiment, all plants were cut back to a height of 10 cm, and after two weeks, twenty plants of clones 5003 and 5005, sixteen plants of clone 5007 and eight plants of clones 5013, 5014 and 5015 were placed into four growth cabinets (model E 15, Controlled Environment Ltd., Winnipeg, Manitoba, Canada). The plants were grouped by clone and allocated randomly to the cabinets, so that the same clonal composition was maintained in each cabinet.

The cabinets were illuminated by 32 fluorescent tubes (160 W, Sylvania, USA) and 12 tungsten bulbs (75 W, Phillips, U.K.). The proportion of tubes and bulbs was varied to adjust the photon flux density within the growth cabinets, while maintaining a constant R:FR ratio of 1.91 ± 0.06 . The photon flux density at canopy level was maintained at 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ for

the low irradiance treatment in two of the cabinets, and at $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ for the high irradiance treatment in the other two cabinets. Photon flux density and R:FR ratio were determined using a quantum sensor (SKP 2200, Skye Instruments, Llandrindod Wells, Powys, Wales) and a red:far red sensor (SKR 100, Skye Instruments, Wales), respectively.

Photoperiod was kept constant at 19.5 h. Day and night temperatures were maintained at 20°C and 28°C , and day and night relative humidity at 70% and 80%, respectively. These temperature and humidity values are similar to those recorded in the Guanacaste region of Costa Rica, where *A. guachapele* grows naturally. The CO_2 concentration inside the cabinets was around $430 \mu\text{mol mol}^{-1}$.

The plants were watered daily and received a twice weekly supply of 1.25% or 0.25% liquid fertilizer (SHL "Solunure", 20%N, 20%P, 20%K) depending on the treatment, applied instead of the daily watering.

Both the irradiance and the red:far red ratio were measured weekly, and the lamps were raised to maintain a constant irradiance at the top of the canopy as the plants grew taller. Every week the positions of the plants were rerandomised, to counteract for any possible environmental variation within the cabinets.

At the end of the eighth week, the soft apical tip of each plant was discarded and six single-node leafy stem cuttings were collected sequentially down the stem, after trimming their leaf area to two pairs of pinnae (approximately 115 cm^2). Indole-3-butyric acid in methanol solution at a concentration of 0.2% was applied to the clean-cut base of the cuttings using a micrometer syringe. Immediately after applying the solution, the alcohol was quickly evaporated off in a stream of cold air from a fan before inserting the cuttings in coarse gravel on non-mist propagator beds. Propagators were constructed following the design of Leakey *et al.* (1990). The cuttings were allocated as 18 randomized blocks, keeping record of clone and node position within the stem. Each block contained 24 cuttings from a single clone, six from each of four irradiance/nutrient combinations.

The propagation beds were heated to $30 \pm 1.5^\circ\text{C}$ at the base of the cuttings and artificial lights provided a photon flux density above $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, which increased to over $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ during bright weather. Photoperiod was maintained at 19.5 h throughout the experiment. The cuttings were finely sprayed with water twice a day to keep the leaves moist.

Assessments

All the plants were assessed weekly for total height, from the base of the shoot to the apex. For the determination of specific leaf area (SLA), ten leaflets were harvested at week 8 from the first fully developed leaf of two plants from each treatment, one from each of clones 5003 and 5005. Measurements of leaf area (s) using an area meter (Delta-T Devices, U.K.) and dry mass (D , oven dry mass after drying at 60°C during 24 h) were taken, and the SLA calculated as:

$$\text{SLA} = s/D \text{ (m}^2\text{g}^{-1}\text{)}$$

At week 8, measurements of CO_2 and water exchange were taken on four consecutive days, in a sample of six randomly selected plants from each cabinet, three from each of clones 5003 and 5005. For these measurements, a portable gas exchange system with infrared gas analyser was used (LCA-3, Analytical Development Co. Ltd., Hoddesdon, U.K.). The leaf chamber was held in a fixed horizontal position inside the cabinet to maintain a constant photon flux density at the leaf level of 200 or $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ according to treatment. Measurements were taken on the first fully developed leaf from the top of the plant, selecting a fully exposed leaflet. Readings on consecutive days were taken using the same leaflet. The leaf chamber was connected to the LCA through a hole in the cabinet, so that the cabinet door was closed during readings.

During the rooting period, 12 cuttings from each irradiance-nutrient combination - six from each of clones 5003 and 5005 - were harvested at days 1, 10 and 20 for assessments of leaf, petiole and stem fresh and dry mass and leaf area. Leaf areas were determined using an area meter (Delta-T Devices, U.K.), and dry mass was obtained after oven-drying the tissues for 48 h at 60 °C.

Estimates of leaf, stem and total dry mass at day 1 were obtained by multiplying the total fresh mass of the cuttings at day 1 by a reduction factor obtained from the cuttings destructively harvested at day 1. Corrected changes in dry mass were calculated by obtaining the percentage variation with respect to the estimated initial dry mass, and then expressed as the mean changes (g) from the initial value (100% = 0 g dry mass gain).

Assessments of chlorophyll fluorescence were carried out every three days on a sample of 48 cuttings of clone 5007 - 12 from each irradiance-nutrient combination. For the assessments, a Plant Stress Meter was used (PSM Mark II, Bio Monitor S.C.I. AB, Sweden), pre-set at a light level of 400 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and a run-time of 10 s; the dark-adaptation period was 15 min. These settings were determined after conducting a preliminary test on a random sample of cuttings. The measurements were taken on the distal leaflet of the largest pinna.

At day 2, the midpoint diameter and total length of the cuttings were measured. After one week, the cuttings were lifted and examined to assess number of roots and leaf shedding; similar assessments were carried out for the next two consecutive weeks.

Analysis

For the growing period, analyses of variance were carried out on shoot growth and specific leaf area, followed by tests of least significant difference, equivalent to the Fisher's *t* test. For the rooting period, analyses of variance and Fisher's *t* tests were carried out on rooting percentage (previous transformation of the data by the formula $\arcsin \sqrt{\%}$), number of roots per cutting and dry mass accumulation.

Analyses of deviance for stepwise regression using GENSTAT 5 (Payne *et al.* 1987) were utilized to determine the influence of treatments and morphological characteristics of the cuttings on their rooting ability. To determine the influence of treatments on the net photosynthetic rate and stomatal conductance of the cuttings, analyses of variance for stepwise regression in GENSTAT 5 (Payne *et al.* 1987) were used.

Results

Growing period

The analysis of variance showed highly significant differences ($p < 0.001$) in shoot growth between irradiances and nutrient supply at the end of eight weeks. Mean shoot growth decreased with increasing irradiance and with increasing nutrient supply, from 52.7 cm for the combination 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ /0.25% NPK to 27.7 cm for the combination 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ /1.25% NPK (Fig. 1).

Clones also showed highly significant differences ($p < 0.001$) in terms of shoot growth, varying between 27.2 cm for clone 13 to 49.5 cm for clone 15.

There were highly significant differences in specific leaf area (SLA) between irradiances and nutrient treatments and the interactions between these variables. Results were consistent with those of shoot growth; at 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, specific leaf area was significantly lower at the high nutrient supply (5.1 vs. 4.1), while at 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ the difference between nutrient treatments was non-significant (3.0 vs. 2.9 for the low and high nutrient supply, respectively).

Net photosynthetic rates (P_n) were higher at the high irradiance, and within each irradiance treatment, high nutrients caused a reduction in P_n , although for the high irradiance, this reduction was not significant (Fig. 2). No significant differences were found between irradiance and nutrient treatments for mean stomatal conductance (g_s), which was in the range 118.7 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ to 122.7 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. The analysis of variance for stepwise regression showed that P_n was significantly dependent on g_s ($p < 0.01$) and irradiance ($p < 0.01$), but was not significantly affected by the nutrient treatment. When the g_s measurements were analysed in the same way, the analysis showed no relationship between g_s and either irradiance or nutrient treatment.

Rooting of stem cuttings

No significant differences were found between treatments for estimated dry mass accumulation at the end of three weeks. However, the combination 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ /0.25% NPK showed a steady increase from day 0 (standard value: 0 g) to day 10 (0.11 g) and day 20 (0.24 g). The combinations 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ /0.25% NPK and 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ /1.25% NPK showed a slight decline after 10 days (-0.06 and -0.15, respectively), to recover again at day 20 (0.04 and 0.06, respectively) only to levels similar to those at day 0. The treatment 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ /1.25% NPK showed a decrease at day 10 (-0.41) and all cuttings died before the following assessment at day 20.

The chlorophyll fluorescence ratio (F_v/F_m) showed a similar pattern for all treatments, with significant differences only at days 8 and 21, when the combination 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ /1.25% NPK showed values significantly lower than the rest of the treatments (Fig. 3). In general, F_v/F_m decreased from day 4 to day 8, and increased again by day 14. After 18 days there was a further reduction in F_v/F_m in all treatments and a final increase by day 21, with the exception of treatment 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ /1.25% NPK which showed similar values to those at day 18.

There were highly significant differences ($p < 0.001$) in rooting percentage after three weeks between irradiances and nutrient supply, and a significant interaction ($p < 0.05$) between irradiances and nutrients. Rooting percentage decreased from 53.8% with low light/low nutrients to 11.2% with high light/high nutrients (Fig. 4a).

The analysis of variance for number of roots per rooted cutting showed highly significant differences between clones ($p < 0.01$) and nutrient treatments ($p < 0.001$). A similar trend to that of rooting percentage was obtained for this variable, which decreased from 10.6 for the combination 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ /0.25% NPK to 6.7 for the combination 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ /1.25% NPK (Fig. 4b).

There were also highly significant differences ($p < 0.001$) in rooting percentage between clones. Clones 5007 and 5013 showed the highest rooting percentage (52.5% and 47.2%), clones 5003 and 5005 were intermediate (36.0% and 31.1%), whilst clones 5014 and 5015 displayed the lowest rooting percentage (21.2% and 18.9%). There was less variation in terms of mean number of roots per rooted cutting, which varied from 5.0 for clone 5014 to 11.4 for 5013.

Rooting percentage decreased progressively with the node position down the stem, from 47.6% for node 1 (apical) to 21.7% for node 5 and 31.5% for node 6 (basal). The mean number of roots per rooted cutting increased from node 1 (9.2) to node 4 (10.4), to decrease again to node 6 (6.1). Differences between nodes 1-5 were not significant, but the low number of roots produced by the most basal node was a significant reduction.

When the rooting data was analysed by stepwise regression, rooting was found to be significantly affected by cutting diameter, nutrient treatment applied to the stockplants, clone and cutting length, but was not significantly affected by irradiance applied to the stockplants or the node position. When the data was analysed in the same way, using values of cutting volume instead of diameter and length, the effect of volume on rooting became non significant. Cutting diameter increased progressively from the apical (3.8 mm) to the basal

nodes (5.5 mm), while cutting length showed roughly the opposite trend (38.2 cm for node 1 to 30.5 cm for node 6). When these were correlated with rooting percentage, a strong negative relationship was found between rooting and cutting diameter (Fig. 5a), and a positive relationship between rooting and cutting length (Fig. 5b).

Discussion

Under artificial light conditions it is difficult to obtain natural light quality, in particular, natural red:far red ratios (Leakey and Storeton-West 1992). Red:far red ratio for the natural environment is 1.2 (Chazdon and Fletcher 1984); greater ratios, as the ratio of 1.91 recorded in the present experiment, must be considered as a coarse simulation of what might be recorded in the field (Ramos and Grace 1990). The irradiances used, however, can easily be duplicated under natural conditions in the tropics. Moreover, the use of a constant red:far red ratio for all the cabinets allows the interpretation of treatment differences without the possible variations introduced by different light qualities.

Cuttings of *A. guachapele* rooted better from stockplants grown at low irradiance and with a low nutrient supply. Correspondingly, cuttings from stockplants grown under the higher levels of both variables rooted very poorly. There was however an overall interaction between irradiance and nutrients, such that cuttings rooted better when stockplants were grown with low nutrient supply, and within each rate of nutrient supply rooting was higher when a low stockplant irradiance was used.

There has been a great deal of discussion about the effects of irradiance and nutrients on stockplant growth and subsequent rooting and, to date, there does not seem to be a consistent response in all tree species. Perhaps this is not surprising since trees are known to vary in their light requirements and some tree species (e.g. *A. guachapele*) are nitrogen fixing, especially at low soil fertility.

In the present experiment, nutrient supply seems to have produced a greater effect than irradiance on rooting. The addition of fertilizer at a higher rate did reduce the photosynthetic rate of stockplants grown at high irradiance and this could be seen as a reason for the poor rooting of these cuttings; however, it does not explain why the cuttings from stockplants grown at low irradiance showed better rooting but even lower photosynthetic rates.

One can thus suggest that photosynthesis was not a limiting factor and that the two irradiances used were probably appropriate for an adequate photosynthetic rate, but other factors exerted a greater influence on the subsequent rooting ability of cuttings. In the present experiment, the effects of irradiance and nutrient supply on stockplant growth were very clear. Plants at low irradiance produced longer shoots, as expected, and within each irradiance, the application of high rates of fertilizer seems to have lowered the elongation capacity of the shoots. Leaves of stockplants grown with a higher nutrient supply had a greater specific area, probably indicating a diversion of nutrients to the leaves at the expense of shoot growth. It is known that leaves are not only importers of photosynthate during much of their period of laminar extension but also retain much of their own photosynthate (Thrower 1962). With a wide range of plants, it has been found that nutrient content, chiefly N, correlates negatively with rooting (Hartmann and Kester 1983; Leakey and Storeton-West 1992). In general, it appears that suboptimal fertilization, in some cases to the point when the shoots show deficiency symptoms, results in cuttings that root best (Hartmann and Kester 1983; Moe and Andersen 1988). There are also a considerable number of studies claiming that stems with high C/N ratios root much better than those with low C/N ratios (Hartmann and Kester 1983; Veierskov 1988). Based on the hypothesis of C/N ratio and its effects on rooting, growing stockplants under conditions of limited N supply has been recommended as a way to increase the C/N ratio in the shoots and hence, to stimulate rooting (Hartmann and Kester 1983). It is important to understand, however, that C/N ratio is only one parameter which may affect rooting (Veierskov 1988). All essential elements/compounds are important in the rooting process and to ascribe a more significant role to one or two is probably misleading (Veierskov

1988). The exact role of carbohydrates in rooting remains obscure, partly because altering the carbohydrate status of stockplants is very difficult without interactions with other important developmental parameters (Veierskov 1988).

It is clear, however, that without some threshold level of carbohydrates, growth and development will cease (Veierskov 1988). Therefore, in stockplants with a low carbohydrate content, the energy charge will be too low to support rooting (Veierskov 1988). In this experiment, the greater rooting percentage obtained with cuttings from stockplants grown with low N-fertilizer applications may be a result of their greater carbohydrate content. Within each rate of fertilizer application, cuttings from stockplants grown at low irradiances, as expected, rooted better than those from high irradiance. Promotion of rooting by low irradiances has been associated with an increased auxin content in the shoots, possible changes in rooting inhibitors and/or promoters, with a beneficial change in the internal structure of the stem where roots later will appear (Blazich 1988; Hartmann and Kester 1983; Moe and Andersen 1988), and increasing sensitivity of tissues to auxin (Maynard and Bassuk 1988). Although enhancement of rooting by low stockplant irradiance is common, the exact mechanisms involved are, however, poorly understood.

To evaluate the effect of stockplant irradiance on rooting, the light conditions during rooting also must be considered (Moe and Andersen 1988). The light compensation point and the respiration rate is usually higher in stockplants grown under high irradiance. Cuttings taken from such stockplants and rooted at irradiances below the light compensation point frequently show poor rooting (Moe and Andersen 1988). This did not seem to be the case in the present experiment, according to the better rooting of cuttings from stockplants grown at $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (and low nutrients) in comparison with cuttings from stockplants grown at $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (and high nutrients). Also, cuttings from both low and high irradiance stockplants showed an overall increment in total dry mass after 20 days in the propagator. It appears that irradiance during rooting was sufficient to support an adequate rate of current photosynthesis, independently of the previous light conditions of the stockplants. This is supported by the fact that no differences were found between treatments in their F_v/F_m ratios during the propagation period. The F_v/F_m ratio is a good indicator of photosynthetic efficiency, a decline in the ratio being indicative of a decrease in photosynthetic efficiency and *vice versa* (Bolhar-Nordenkamp *et al.* 1989). The F_v/F_m ratios of the cuttings were low compared with those reported as normal by Bolhar-Nordenkamp *et al.* (1989). This may be well due to an inherent characteristic of the species, which has not been studied in any detail, or is probably a normal feature of cutting leaves, which normally show a low photosynthetic rate due primarily to stomatal closure (Davis 1988). It is known that leafy cuttings generally require a lower level of irradiance during propagation than that applied to the stockplants (Moe and Andersen 1988), and that even low rates of current photosynthesis can significantly influence the carbon balance and dry matter accumulation within a cutting (Davis 1988). Also, a number of studies have shown that saturation of current photosynthesis by unrooted leafy cuttings is generally at a much lower PAR than that of intact plants (Davis and Potter 1981; 1987; Machida *et al.* 1977).

Cuttings from high irradiance-high nutrient stockplants were also much shorter than those from any other treatment, which also surely negatively influenced their rooting ability through its effects on the cutting reserves. These cuttings showed a heavy leaf shedding after 10 days in the propagator, a behaviour similar to that reported for *A. falcata*, when cuttings were collected from vigorously growing stockplants (Leakey 1991).

Therefore, it seems that the *A. guachapele* cuttings are not only dependant on current photosynthesis for an adequate rooting, but also on their initial carbohydrate content. Cuttings from the high irradiance-high nutrient stockplants were probably deficient in carbohydrates to support rooting, in spite of the fact that light during propagation was sufficient for an adequate rate of current photosynthesis.

The result of this study indicate that *A. guachapele* can be easily propagated with the non-mist propagator system described here. Growing stockplants under low irradiance and low nutrient supply produced longer cuttings with a higher rooting ability. Basal nodes were

extremely short, woody and hollow and inappropriate for rooting. These cuttings also had a greater susceptibility to rotting, because their leaves were lying on the surface of the medium. Therefore, thin (around 4 mm) and long (more than 40 mm) cuttings should be used to increase both rooting percentage and the number of roots produced by the cuttings.

References

- Blazich FA (1988) Chemicals and formulations used to promote adventitious rooting. In: Davis TD, Haissig BE, Sankhla N (eds). *Adventitious Root Formation in Cuttings*. B.E. Dioscorides Press, Portland, Oregon. pp 132-149.
- Bolhar-Nordenkampf HR, Long SP, Baker NR, Öquist G, Schreiber U, Lechner EG (1989) Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthesis competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Functional Ecol* 3:497-514.
- Chazdon RL, Fletcher N (1984) Light environments of tropical forests. In: Medina E, Mooney HA, Vázquez-Yanes C (eds) *Physiological Ecology of Plants of the Wet Tropics*. pp 27-36.
- Davis T (1988) Photosynthesis during adventitious rooting. In: Davis TD, Haissig BE, Sankhla N (eds). *Adventitious Root Formation in Cuttings*. B.E. Dioscorides Press, Portland, Oregon. pp 79-87.
- Davis T, Potter JR (1981) Current photosynthesis as a limiting factor in adventitious root formation on leafy pea cuttings. *J Amer Soc Hort Sci* 106:278-282.
- Davis T, Potter JR (1987) Physiological responses of rhododendron cuttings to different light levels during rooting. *J Amer Soc Hort Sci* 112:256-259.
- Eliasson L, Brunel L (1980) Light effects on root formation in aspen and willow cuttings. *Physiol Plant* 48:261-265.
- Hansen J, Ericksen EN (1974) Root formation of pea cuttings in relation to the irradiance of the stock plants. *Physiol Plant* 32:170-173.
- Hansen J, Strömquist LH, Ericsson A (1978) Influence of the irradiance on carbohydrate content and rooting of cuttings of pine seedlings (*Pinus sylvestris* L.). *Plant Physiol* 61:975-979.
- Hartmann HT, Kester DE (1983) *Plant propagation - principles and practices*. 2nd. ed. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall. 702 p.
- Leakey RRB, Mesén JF, Tchoundjeu Z, Longman KA, Dick JMcP, Newton A, Matin A, Grace J, Munro RC, Muthoka PN (1990) Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Comm For Rev* 69(3):247-257.
- Leakey RRB (1991) Towards a strategy for clonal forestry: some guidelines based on experience with tropical trees. In: Jackson JE (ed) *Proceedings of a Symposium on Tree Breeding and Improvement*. Royal Forestry Society of England, Wales and Northern Ireland, Edgbaston. pp. 27-42.
- Leakey RRB, Storeton-West R (1992) The rooting ability of *Triplochiton scleroxylon* cuttings: the interactions between stockplant irradiance, light quality and nutrients. *For Ecol Manage* 49:133-150.
- Machida H, Ooshi A, Hosoi T, Komatsu H, Kamota F (1977) Studies on photosynthesis in cuttings during propagation. I. Changes in the rate of apparent photosynthesis in the cuttings of several plants after planting. *J Japanese Soc Hort Sci* 46:274-282.

- Maynard BK, Bassuk NL (1988) Etiolation and banding on adventitious root formation. In: Davis TD, Haissig BE, Sankhla N (eds). *Adventitious Root Formation in Cuttings*. B.E. Dioscorides Press, Portland, Oregon. pp 29-46.
- Menzies MI (1992) Management of stock plants for the production of cutting material. In: *Mass Production Technology for Genetically Improved Fast Growing Forest Tree Species*. Published by AFOCEL, Nangis, France. pp. 257-270.
- Mesén JF, Boshier DH, Cornelius JP (1993) Genetic improvement of trees in Central America with particular reference to Costa Rica. In: Leakey RRB, Newton AC (eds) *Tropical Trees: Potential for Domestication, Rebuilding Forest Resources*. IUFRO/Edinburgh Centre for Tropical Forests, Edinburgh, Scotland. pp ??
- Moe R, Andersen AS (1988) Stockplant environment and subsequent adventitious rooting. In: Davis TD, Haissig BE, Sankhla N (eds). *Adventitious Root Formation in Cuttings*. B.E. Dioscorides Press, Portland, Oregon. pp 214-234.
- Payne RW, Lane PW, Ainsley AE, Bicknell KE, Digby PGN, Harding SA, Leech PK, Simpson HR, Todd AD, Verrier PJ, White RB (1987) *GENSTAT 5: reference manual*. Clarendon Press, Oxford.
- Ramos J, Grace J (1990) The effects of shade on the gas exchange of seedlings of four tropical trees from Mexico. *Funct Ecol* :667-677.
- Throver SL (1962) Translocation of labelled assimilates in soybean. II. The pattern of translocation in intact and defoliated plants. *Australian J Biol Sci* 15:629-649.
- Tree Improvement Project (1987) Maintaining biological diversity of threatened multipurpose species in Central America by vegetative propagation. Project Proposal to USAID, CATIE/CAMCORE. 70 pp. Unpublished.
- Veierskov B (1988) Relations between carbohydrates and adventitious root formation. In: Davis TD, Haissig BE, Sankhla N (eds). *Adventitious Root Formation in Cuttings*. B.E. Dioscorides Press, Portland, Oregon. pp. 70-78.

Figure captions

- Fig. 1 The effect of irradiance and nutrient supply on mean height of *A. guachapele* plants grown in controlled-environment cabinets to give four irradiance-nutrient combinations: 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ with 0.25% NPK (circles) or 1.25% NPK (diamonds) and 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ with 0.25% NPK (triangles) or 1.25% NPK (squares). $N = 20$, bar = \pm standard error of the mean.
- Fig. 2 The effect of irradiance and nutrient supply (0.25% NPK - open bars; 1.25% NPK - shaded bars) on the net photosynthetic rate per unit leaf area of *A. guachapele* plants grown in controlled-environment cabinets. $N = 24$, means with the same letter are not significantly different ($t_{0.05}$).
- Fig. 3 The ratio of the variable fluorescence to maximum fluorescence (F_v/F_m) for single-node, leafy stem cuttings of *A. guachapele* set to root in non-mist propagators. Cuttings were collected from stockplants grown under four irradiance-nutrient combinations: 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ with 0.25% NPK (circles) or 1.25% NPK (squares) and 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ with 0.25% NPK (triangles) or 1.25% NPK (diamonds). $N = 12$, bars = \pm standard error of the means.
- Fig. 4ab The influence of irradiance and nutrients (0.25% NPK - open bars; 1.25% NPK - shaded bars) applied to *A. guachapele* stockplants on (a) subsequent rooting percentage and (b) number of roots per rooted cutting of single-node, leafy stem cuttings set to root in non-mist propagators. $N = 92-107$, means with the same letter are not significantly different ($t_{0.05}$).
- Fig. 5ab The relationship between (a) mean cutting diameter and (b) mean cutting length and rooting of single-node, leafy stem cuttings of *A. guachapele* after three weeks in non-mist propagators. Each value is the mean ($n = 68$) of six clones and four irradiance/nutrient combinations applied to the stockplants.

PROPAGACION VEGETATIVA DE *Araucaria hunsteinii* Sch.
MEDIANTE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS

José Francisco Mesén Sequeira

Tesis presentada como requisito parcial para
optar al título de Ingeniero Agrónomo en el
grado académico de Licenciado en Fitotecnia

PROPAGACION VEGETATIVA DE Araucaria hunsteinii Sch.
MEDIANTE ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS

RESUMEN

Desde su introducción en Costa Rica en el año 1966, Araucaria hunsteinii ha mostrado un crecimiento excepcional en regiones húmedas entre los 600 y los 1 400 msnm, lo que le confiere un gran potencial como especie para reforestación en dichas regiones. Sin embargo, su uso a nivel comercial y aún experimental se ha visto obstaculizado por la dificultad para obtener semilla viable en cantidades suficientes. Una excelente alternativa para la producción de árboles en gran escala consiste en la propagación vegetativa mediante el enraizamiento de estacas, pero en general existen pocos conocimientos al respecto y no se tiene ninguna experiencia con esta especie en Costa Rica. Por tales motivos se consideró conveniente determinar para las condiciones de Turrialba, las mejores técnicas para la propagación por estacas de A. hunsteinii.

El trabajo consistió de cuatro etapas y se realizó entre noviembre de 1983 y abril de 1986, en el invernadero del vivero forestal del CATIE.

En la primera etapa se evaluó el efecto de dos tipos de riego (manual y nebulización), dos tipos de sustrato (arena y aserrín) y tres hormonas (AIA, AIB, ANA) en dosis de 4 000 mg/l sobre el comportamiento de estacas plagiotrópicas procedentes de árboles de tres y medio años de edad.

Al final de seis meses no hubo diferencias significativas entre tipos de riego ni entre hormonas, aunque el riego por nebulización presentó una ligera superioridad, y todas las hormonas, especialmente el ANA, causaron toxicidad en las estacas. La arena fue definitivamente superior al aserrín, el cual retuvo

demasiada humedad y favoreció la pudrición y muerte de las estacas. Los niveles de enraizamiento fueron bajos, en ningún caso mayores al 3%.

En la segunda etapa se evaluó el efecto del AIB y el AIA en dosis de 0, 200, 400, 800, 1600 y 3200 mg/l sobre el comportamiento de estacas plagiotrópicas, procedentes de árboles de cuatro años de edad. Aunque no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, el AIB se mostró ligeramente superior al AIA y se notó el efecto negativo sobre las estacas de las dosis superiores a 800 mg/l. En ningún caso se obtuvieron porcentajes de enraizamiento mayores al 1%.

En la tercera etapa se evaluaron dos tipos de material ortotrópico, apical y sub-apical, más un grupo de material plagiotrópico apical como comparador, procedentes de árboles de cinco años de edad, y varias dosis de AIB (0, 200, 300, 400, 500 y 600 mg/l). Como ha sido informado en la literatura, el material plagiotrópico fue superior al ortotrópico apical para todas las variables. El material ortotrópico sub-apical presentó resultados muy pobres, lo que lo hace inapropiado como material de propagación. El material plagiotrópico se utilizó hasta el momento como comparador, puesto que dicho material mantiene su comportamiento plagiotrópico y no desarrolla ejes verticales. No hubo diferencias significativas entre dosis de AIB, aunque la dosis de 400 mg/l mejoró ligeramente la respuesta de las estacas. Aún así, los niveles de enraizamiento se mantuvieron bajos, en ningún caso mayores del 1%.

En la cuarta etapa se evaluó la respuesta de dos tipos de estaca apical, ortotrópica y plagiotrópica (como comparador) procedentes de plántulas de cuatro meses de edad, tratadas con AIB 400 mg/l, kinetina 5 mg/l y una mezcla de ambos. No hubo diferencias significativas entre

tratamientos hormonales para ninguna de las variables evaluadas. El material ortotrópico apical fue superior en todas las evaluaciones, logrando un 66% de enraizamiento al final de 12 meses.

Ninguno de los tratamientos hormonales evaluados en este trabajo produjo incrementos significativos en los niveles o velocidad de enraizamiento de las estacas de A. hunsteinii y en general, dosis hormonales superiores a los 800 mg l⁻¹ causaron toxicidad en las estacas. Las respuestas más dramáticas fueron causadas por el sustrato utilizado, donde la arena presentó ventajas concluyentes en comparación con el aserrín, y por la edad de la planta madre; estacas de árboles entre tres años y medio y cinco años de edad presentaron niveles de enraizamiento menores al 3%, en comparación con estacas de plántulas de cuatro meses de edad, que alcanzaron niveles de enraizamiento del 66%.

6. CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes del presente trabajo son las siguientes:

1. Tanto el riego por nebulización automática como el riego manual tal y como se utilizó en el presente estudio, son apropiados para el enraizamiento de estacas de A. hunsteinii, aunque el riego por nebulización presenta ventajas prácticas y ofrece un mejor ambiente para el desarrollo de las raíces, especialmente cuando se utiliza arena como sustrato. Si se utiliza la combinación riego manual-arena, es recomendable aumentar la periodicidad del riego a más de tres veces al día.
2. El sustrato arena presenta ventajas definitivas para el enraizamiento de estacas de A. hunsteinii en comparación con el aserrín.
3. Los brotes ortotrópicos de plántulas jóvenes son mejor material de propagación vegetativa en A. hunsteinii que brotes de plantas más viejas. Estacas de plántulas de cuatro meses de edad presentaron los mayores porcentajes de enraizamiento en el presente estudio, con un máximo del 66%, al contrario de las estacas de árboles mayores de cuatro años de edad que alcanzaron niveles de enraizamiento menores del 1%. Las estacas ortotrópicas sub-apicales de cuatro años de edad presentaron valores sumamente bajos de sobrevivencia, formación de callo y enraizamiento, lo que las hace inapropiadas como material de propagación.
4. Los brotes plagiotrópicos de cuatro años de edad presentan mayores porcentajes de sobrevivencia, formación de callo y enraizamiento que los brotes ortotrópicos de la misma edad y también enraizan más rápidamente. Sin embargo, los primeros retienen su

comportamiento plagiotrópico y no desarrollan un eje vertical.

5. Ninguna de las hormonas y dosis utilizadas en el presente estudio aumentó significativamente los niveles de enraizamiento de las estacas, aunque la dosis de 400 mg l⁻¹ de AIB mejoró ligeramente la respuesta de estacas de árboles de cuatro años de edad. Dosis hormonales superiores a 800 mg l⁻¹ presentaron efectos tóxicos en las estacas.
6. La kinetina (5 mg l⁻¹) tanto sola como en mezcla con el AIB (en dosis de 400 mg l⁻¹) no tuvo ningún efecto significativo en el comportamiento de estacas de plántulas de cuatro meses de edad.
7. El número de raíces por estaca y la longitud máxima de raíces se vieron poco afectadas por los tratamientos, comportándose en forma más o menos independiente. Esto sugiere que dichas variables no son buenas discriminantes para la separación de tratamientos y que en futuros ensayos las evaluaciones podrían limitarse a la sobrevivencia, la formación de callo y el porcentaje de enraizamiento.
8. Este trabajo preliminar intenta establecer las bases para la propagación por estacas de *A. hunsteinii*. Se requiere mucha más investigación en este campo para poder ofrecer un paquete tecnológico completo, fácilmente aplicable, para la producción masiva de árboles de *A. hunsteinii* mediante el enraizamiento de estacas.

7. RECOMENDACIONES

1. Del examen de los análisis de varianza realizados en este estudio se desprende que el uso de bloques completos al azar por lo general no fue eficiente bajo las condiciones experimentales utilizadas, y que el diseño completamente al azar podría ser satisfactorio. Aparentemente las condiciones en el área de propagación fueron suficientemente homogéneas por lo que en la mayoría de los casos no hubo diferencias estadísticamente significativas entre bloques.
2. En futuras investigaciones se podría probar el efecto de la fertilización sobre el enraizamiento, la cual ha mostrado efectos positivos en otras especies¹ (Girouard, 1974). También sería recomendable probar mezclas de sustratos, ya que en otras especies se ha encontrado que estacas en arena sola únicamente producen callo y no raíces, pero sí en mezclas de arena y turba (Boeiink y van Broekhuizen, 1974). Sería interesante también observar el efecto de la interacción AIB-kinetina en un mayor rango de combinaciones. Se deberá utilizar únicamente material apical juvenil.
3. Se recomienda establecer setos vivos de A. hunsteinii que puedan podarse regularmente y que puedan producir gran cantidad de material juvenil apto para el enraizamiento. Este método ha mostrado su efectividad en otras especies de coníferas tales como Picea spp (Girouard, 1974), Pinus caribaea (Inglis, 1984), P. radiata (Libby, 1974) y P. sylvestris (Whitehill y Schwabe, 1975). Se podría probar el efecto de ciertas giberelinas en la inducción de ápices en estos setos (ver Inglis, 1984).
4. Una vez establecidos los setos se puede iniciar la producción masiva de plantas utilizando las técnicas descritas que mostraron su efectividad en el presente estudio.

1/ Enriquez, G. 1987. CATIE, Turrialba. Comunicación personal.



ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS JUVENILES DE *Cedrela odorata* L.

Eric R.A. Díaz Maldonado¹
Rodolfo Salazar²
Francisco Mesén³



INTRODUCCION

Cedrela odorata L. es una especie del trópico americano; se le encuentra en forma natural desde México hasta el Amazonas, incluyendo Las Antillas, donde comúnmente se le conoce como cedro amargo.

Es una meliácea de crecimiento rápido, que se adapta a una amplia gama de condiciones climáticas, desde el nivel del mar hasta 900 m de elevación, con precipitaciones de 1500 mm, con una época seca bien definida, hasta 5000 mm sin una época seca y temperaturas desde 22 hasta los 35°C. Usualmente, se le encuentra como árboles aislados en suelos fértiles y bien drenados, tanto en bosques primarios como secundarios, combinada en forma natural con cultivos como café, coco, caña de azúcar o en potreros.

El árbol puede alcanzar 40m de altura, con diámetros de 90 cm. Generalmente, el fuste es recto y bifurcado a los 3 ó 4 m de altura, con una copa amplia y redondeada. La madera de *C. odorata* es muy apreciada por su trabajabilidad, durabilidad, peso liviano y color atractivo, por lo que ha sido empleada en la región de origen, en la fabricación de muebles, puertas, ventanas y cuando fue abundante, hasta en la construcción de viviendas.

Este uso intensivo del cedro, ha provocado la destrucción de la mayor parte del germoplasma, especialmente de aquellos árboles con características deseables para la producción de madera. La mayoría de los individuos que todavía se encuentran dispersos en la Región, básicamente en asocio natural con sistemas agrosilvopastoriles, no presentan buenas características morfológicas. Otro factor en contra de esta especie es su alta susceptibilidad al ataque del barrenador de los brotes o yemas terminales (*Hypsiphyla grandella*). Este barrenador dificulta el cultivo de cedro en plantaciones y aún aquellos árboles que crecen en forma aislada, son atacados, por lo que es usual encontrarlos bifurcados.

Ante esta realidad y dada la importancia de la especie para producción de madera de alto valor, en el Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE se ha desarrollado un método práctico de reproducción vegetativa, para establecer una estrategia de conservación y reproducción del germoplasma de mejor calidad.

Este trabajo presenta los resultados sobre el enraizamiento, brotación y número de raíces en estacas juveniles de *C. odorata*, al utilizar distintas concentraciones de ácido indolbutírico (AIB), distintos sustratos, áreas foliares y longitudes de estacas.

MATERIALES Y METODOS

Las pruebas de enraizamiento se realizaron en el vivero de investigación forestal del CATIE, Turrialba, Costa Rica. Para cumplir con los objetivos, el presente estudio se dividió en dos ensayos.

En el primero se probaron cinco dosis de ácido-indol-3-butírico (0,0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 %) disueltas en metanol, aplicadas a la base de cada estaca en 10 ml de solución, utilizando una microjeringa con evaporación inmediata del alcohol en una

¹ Estudiante del Programa de Posgrado del CATIE.
² Ph.D. Líder del Proyecto Madeña 3, CATIE.
³ M.Sc. Líder del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE.

corriente de aire frío. Las estacas tratadas se pusieron a enraizar en tres sustratos: arena, grava y una mezcla arena-grava (50:50 p/v). Las estacas empleadas para todos los tratamientos tuvieron una longitud de 6 cm y el área foliar se redujo a 50 cm² por estaca. El diseño experimental fue de bloques al azar con parcelas divididas, con nueve bloques y unidades experimentales de seis estacas. Las parcelas grandes fueron los sustratos y las subparcelas, las diferentes dosis de AIB.

En el segundo ensayo se utilizó la concentración de AIB y el sustrato, que dieron mejores resultados en el primer ensayo. En éste, se probaron tres longitudes de estacas (4, 6 y 8 cm) y tres áreas foliares (25, 50 y 100 cm²). El diseño experimental fue de bloques completos al azar, en arreglo factorial (3X3), con ocho repeticiones y unidades experimentales de seis estacas.

La cámara de enraizamiento fue un propagador mejorado pero de bajo costo. Estos propagadores son de fácil construcción, efectivos y no requieren agua de cañería ni electricidad. La construcción del propagador se basó en el diseño de Howland, modificado por Leakey y Longman en 1988 (Leakey *et al.*, 1990). Su construcción fue hecha a base de madera y polietileno; en el fondo, a los lados y en la tapa se colocó una hoja de polietileno para retener humedad. La base se relleno con capas sucesivas de piedra y grava y sobre ella, se colocó el medio de enraizamiento. Finalmente, se agregó agua hasta saturar las capas de piedra y grava, para mantener húmedo el sustrato por capilaridad.

Para disminuir la temperatura y la intensidad de luz en la cámara propagadora, se protegió el área de propagación con malla negra. Las condiciones ambientales promedio en la cámara de propagación fueron: temperatura del aire 25,6°C, temperatura del sustrato 25,9°C, irradiación solar 54 mol/m²/seg y humedad relativa de 99%.

En ambos ensayos se utilizó material vegetativo de plantas juveniles y vigorosas procedentes de semillas.

El efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de enraizamiento, brotación y el número de raíces por estaca, se analizó después de 2, 4 y 6 semanas de haber colocado las estacas en la cámara propagadora.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los análisis de varianza de las variables porcentajes de enraizamiento, porcentajes de brotación y promedio del número de raíces, estudiadas en el primer ensayo, indican que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tres sustratos probados. No obstante, sí hubo diferencias altamente significativas ($P < 0,05$) entre las dosis de AIB utilizadas para las mismas tres variables. No hubo significancia para la interacción entre sustratos y dosis de AIB, para las mismas variables.

El porcentaje de enraizamiento en arena (64%) fue superior en 8 y 13% al de la mezcla y la grava, respectivamente, aunque las pruebas de rango múltiple (Tukey), no mostraron diferencias significativas (Cuadro 1). El promedio del número de raíces por estaca en la arena (20), superó a la mezcla en 33% y a la grava en 67%, aunque de nuevo, estas diferencias no fueron significativas. El porcentaje promedio de brotación por estaca fue de 47%; en cuanto a esta variable, el sustrato arena superó a la mezcla en 5% y a la grava en 17%.

Cuadro 1. Prueba de rango múltiple (Tukey) para sustratos con respecto a los porcentajes de enraizamiento, brotación y número de raíces para estacas de *C. odorata*, a las seis semanas de edad.

Sustrato	Enraizamiento (%)	Brotación (%)	Raíces (No)
Arena	64 a*	54 a	20 a
Mezcla	56 a	49 ab	15 a
Grava	51 a	37 b	12 a

* Los tratamientos seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 0,05.

Los resultados anteriores reafirman lo expuesto por Hartmann y Kester (1972), quienes indican que el medio ideal para enraizamiento es aquel que permite buena aireación, se drene bien y sea fácil de esterilizar y que además, proporcione un soporte adecuado a la estaca.

Las pruebas de comparación múltiple para dosis de AIB (subparcelas) (Cuadro 2), indican que hubo diferencias significativas entre los grupos de medias, siendo las dosis de 0,2 y 0,4% las que dieron los porcentajes de enraizamiento mayores (76 y 72%, respectivamente). La mejor brotación por estaca se obtuvo con la dosis de 0,4% (35%). Se observó una relación directa entre el número de raíces por estaca y la dosis de AIB, ya que el número mayor de raíces (17) se obtuvo con la dosis de 1,6, que superó en un 240% al testigo con sólo cinco raíces por estaca.

Cuadro 2. Prueba de rango múltiple (Tukey) para el efecto de dosis de AIB, sobre los porcentajes de enraizamiento, brotación y número de raíces en estacas de *C. odorata*, a las seis semanas de edad.

Enraizamiento Dosis (%)	Brotación Dosis (%)	Raíces Dosis (%)
0,2 76 a*	0,4 35 a	1,6 17 a
0,4 72 a	0,2 31 ab	0,8 15 a
0,0 58 ab	0,0 24 ab	0,4 13 a
0,8 50 bc	0,8 24 ab	0,2 13 a
1,6 30 c	1,6 17 b	0,0 5 b

* Los tratamientos seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 0,05.

Los beneficios de la aplicación de auxinas sobre la formación de raíces en las estacas es bien reconocido (Hartmann y Kester, 1972). Sin embargo, parece que no hay una relación simple entre niveles de auxina y el enraizamiento. Hasta la fecha, no se ha determinado el papel exacto de las auxinas (Gaspar y Hofinger, 1988). Además de los efectos directos de la auxina sobre la división y el crecimiento celular, los efectos benéficos de la auxina sobre el enraizamiento, han sido asociados con un aumento en el transporte de carbohidratos y cofactores hacia la base de la estaca, donde promueven la iniciación y el desarrollo de raíces (Haissig, 1974). También se ha establecido que ciertos metabolitos y otros factores de crecimiento, se trasladan hacia regiones del tallo que han sido tratadas con auxina. La formación de raíces adventicias en las estacas, probablemente sea el resultado de una interacción compleja entre éstos y otros procesos.

Un aumento en la concentración de la hormona (AIB), produjo un número mayor de raíces por estaca, pero los niveles más altos (0,8% y 1,6%), podrían haber causado una intoxicación. A estos niveles hubo una disminución del porcentaje de enraizamiento y brotación en dichas estacas. Las estacas que resistieron la toxicidad de la hormona, produjeron un número mayor de raíces.

En el segundo ensayo, se utilizaron el sustrato de arena y la dosis de 0,2% de AIB, por ser los tratamientos que dieron mejores resultados.

El análisis de varianza detectó diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) en el porcentaje de enraizamiento, en estacas de diferentes longitudes, no así al variar el área foliar. En cuanto al porcentaje de brotación, las diferencias fueron altamente significativas ($P < 0,05$), en estacas de diferentes longitudes, pero no significativas al variar el área foliar. La variable número de raíces por estaca mostró diferencias altamente significativas ($P < 0,01$), para las longitudes probadas y diferencias significativas ($P < 0,01$) para el área foliar.

El mejor enraizamiento se obtuvo con las longitudes de 6 cm (65%) y 8 cm (57%) (Cuadro 3). Las longitudes de 6 y 8 cm superaron en 28% y 27%, respectivamente a la longitud de 4 cm, en porcentaje de brotación. En contraste, el promedio del número de raíces en estacas de 4 cm de longitud, superó a las otras dos longitudes en un 43%.

Estos resultados concuerdan con Baggio (1982), quien mostró que existe una longitud de estacas óptima para el enraizamiento. Este efecto podría relacionarse con el contenido de sustancias de reserva en la estaca, que intervienen en la formación de raíces.

El área foliar de 100 cm² por estaca, superó los otros tratamientos con respecto al número de raíces; la de 50 cm²

por 12% y a la de 25 cm² por 50%. Es evidente que existe una relación directa entre área foliar por estaca y el número de raíces (Cuadro 4).

El área foliar de 100 cm² por estaca, presentó el porcentaje mayor de enraizamiento (60%), superior en 5% al área foliar de 50 cm² y en 10% al área foliar de 25 cm². No hubo diferencias significativas en el porcentaje de brotación: el área foliar de 25 cm² (66%), superó a las de 100 y 50 cm² por sólo 4% y 7%, respectivamente.

Resultados similares obtuvo Vargas (1982), con estacas de *E. deglupta*, donde hubo una relación positiva entre área foliar por estaca y enraizamiento final.

Cuadro 3. Prueba de rango múltiple (Tukey) por longitud en cm, para los porcentajes de enraizamiento, brotación y número de raíces para estacas de *C. odorata*, a las seis semanas de edad.

Enraizamiento		Brotación		Raíces	
Longitud (%)		Longitud (%)		Longitud(No)	
6	65 a*	6	72 a	4	10 a
8	57 ab	8	71 a	6	7 b
4	43 b	4	44 b	8	7 b

* Los tratamientos seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 0,05.

Cuadro 4. Prueba de rango múltiple (Tukey) por área foliar, para los porcentajes de enraizamiento, brotación y número de raíces para estacas de *C. odorata*, a las seis semanas de edad.

% Enraizamiento		% Brotación		Nº Raíces	
Area foliar (%)		Area foliar (%)		Area foliar	
(cm ²)		(cm ²)		(cm) (No)	
100	60 a*	25	66 a	100	9 a
50	55 a	100	62 a	50	8 ab
25	50 a	50	59 a	25	6 b

* Los tratamientos seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 0,05.

PERSONAL TÉCNICO DEL CATIE-PROYECTO MADELEÑA*

JEFATURA Rudolfo Salazar, Ph.D. Douglas Asch, Sr. Fabian Salas, Lic.	Líder Regional Administración Asistente Técnico	SOCIOECONOMÍA Maxwell Gómez, M.Sc. Carlos Reichs, M.Sc.	Economista Economista	PAÍSES GUATEMALA Carlos Figueroa, M.Sc.	Coordinador Nacional	COSTA RICA Carlos Navarro, M.Sc. Coordinador Nacional
SILVICULTURA William Vásquez, M.Sc. Luis Ugalde, Ph.D.	Silvicultura Manejo de Información	EXTENSION Carlos Rivas, M.Sc. Eli Rodríguez, Lic. Ana Loaiza, Bch. Javier Vincent	Extensionista Principal Editor Diseño Gráfico Audiovisuales	HONDURAS Freddy Ordóñez, Das	Coordinador Nacional	PANAMA Bas Morán, Ing. Coordinador Nacional
				EL SALVADOR Modesto Aráez, M.Sc.	Coordinador Nacional	Nicaragua Humberto Bejarano, Lic. Coordinador Nacional

* Madeleña 3 es el componente de disseminación del cultivo de árboles de uso múltiple, del Proyecto RENARM/CATIE, en América Central y Panamá. Es financiado por AID/ROCAP y ejecutado por INRENARE de Panamá, DGF de Costa Rica, COHDEFOP de Honduras, CENTA de El Salvador, DIGEBOS de Guatemala, IRENA de Nicaragua, con la coordinación regional del CATIE.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los porcentajes mejores de enraizamiento (64%) y número mayor de raíces (20), en *C. odorata* se obtuvieron utilizando arena como medio de enraizamiento. La arena permite condiciones mejores de aireación, drenaje y proporciona un soporte superior, en comparación con los otros sustratos probados. Al aumentar las concentraciones de AIB, aumentó el porcentaje de enraizamiento; sin embargo, al elevar la concentración de AIB por arriba de 0,8%, se redujo el porcentaje de enraizamiento.

Las estacas de 6 cm de largo, con un área foliar de 100 cm², produjeron el mayor porcentaje de enraizamiento.

El promedio del número de raíces por estaca, se relacionó directamente con el área foliar.

La cámara de propagación funcionó bien para el enraizamiento de *C. odorata*. Las condiciones de humedad relativa del ambiente, irradiación solar y temperatura de la cámara, minimizaron la transpiración, favoreciendo el enraizamiento de las estacas.

En resumen, para la propagación vegetativa de estacas juveniles de *C. odorata*, se recomienda el uso de arena como sustrato, una dosis de AIB del 0,2% disuelta en metanol, una longitud de estaca de 6 cm y una área foliar de 100 cm².

BIBLIOGRAFIA

- BAGGIO, A. J. 1982. Establecimiento, manejo y utilización del sistema agroforestal cercos vivos de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud., en Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, C.R., UCR/CATIE. 91 p.
- GASPAR, F.; HOFINGER, M. 1988. Auxin metabolism during adventitious rooting. In *Adventitious root formation in cuttings*. Ed. by T. D. Davis, B. E. Haissig, N. B. Sankhla. Portland, Or. EE.UU. B. E. Dioscorides Press. p. 117-131.
- HAISSIG, B. E. 1974. Influences of auxins and auxin synergists on adventitious root primordium initiation and development. *New Zealand Journal of Forestry Science* (N.Z.) 4(2) 311-323.
- HARTMANN, H. T.; KESTER, D. 1972. Propagación de plantas: principios y prácticas. Trad. por: Marino Ambrosio A. La Habana, Cuba, Instituto Cubano del Libro. 693 p.
- HOLDRIDGE, L. R.; POVEDA A., L. J. 1975. Árboles de Costa Rica, San José, C.R., Centro Científico Tropical. v. 1.
- LEAKEY, R. B.; CHAPMAN, V. R.; LONGMAN, K. A. 1982. Physiological studies for tropical tree improvement and conservation: factors affecting root initiation in cuttings of *Triplochiton secleroxylon* K. Schum. *Forest Ecology and Management* (Holanda) 4: 53-66.
- LEAKEY, R.B. *et al.* 1990. Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review* (G.B.) 69(3):247-257.
- MARTIN, B.; QUILLET, G. 1974. Bouturage des arbres forestiers au Congo. *Bois et Forest des Tropiques* (Francia) 158:39-51.
- VARGAS B., R. G. 1982. Estudio sobre el enraizado de *Eucalyptus deglupta* Blume. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., UCR/CATIE. 60 p.

SILVOENERGIA No.51, Junio de 1992, CATIE 7170, Turrialba, Costa Rica. Responsable: Carlos Rivas A.; Edición: / Elif Rodríguez / Diseño y Montaje: Ana Loaiza / Levantado de Texto: Lisbeth Alfaro / Este trabajo fue escrito por: E.Díaz/R.Salazar/F.Mesén/ Revisores: Luis Ugalde y William Vásquez / Publicación patrocinada por el Proyecto RENARM/MADELEÑA 3. Disseminación del Cultivo de Árboles de Uso Múltiple / CATIE/ROCAP 596-0150. / Edición de 1500 ejemplares.

**Rooting physiology of *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken cuttings:
the influence of stockplant growth conditions and cutting origin**

By F. MESÉN¹, A.C. NEWTON^{2*}, R.R.B. LEAKEY^{2*} and J. GRACE³

**¹ Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE),
Turrialba 7170, Costa Rica.**

**² Institute of Terrestrial Ecology (ITE), Bush Estate, Penicuik, Midlothian,
EH26 0QB, Scotland, U.K.**

**³ Institute of Ecology and Resource Management, The University of Edinburgh,
Kings Buildings, Mayfield Road, Edinburgh EH9 3JU, Scotland, U.K.**

**+Current address: Institute of Ecology and Resource Management,
The University of Edinburgh, Kings Buildings, Mayfield Road,
Edinburgh EH9 3JU, Scotland, U.K.**

***Current address: International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF),
P.O. Box 30677, Nairobi, Kenya.**

SUMMARY

Three separate experiments investigated the vegetative propagation of leafy stem cuttings of *Cordia alliodora* at CATIE, Costa Rica, and tested respectively the effects of (i) irradiance and NPK applied to stockplants, (ii) cutting position within the shoot, and (iii) different node positions on the subsequent growth characteristics. Although high irradiance increased shoot growth of stockplants ($P = 0.001$, ANOVA), the application of NPK had no effect. Rooting percentage of subsequent cuttings was not affected by stockplant light environment, but the application of NPK significantly reduced the rooting percentage of cuttings from under low irradiance ($P < 0.05$; ANOVA). Conversely, the number of roots per cutting was unaffected by NPK, but was significantly ($P < 0.001$, ANOVA) reduced by high irradiance. Photosynthetic rate (P_n) of stockplants was increased by irradiance, but not by NPK. In Experiment 2, post-severance values of P_n between 0.68 and 6.70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ were recorded. P_n was positively correlated with VPD and PAR ($r^2 = 0.71$ and 0.80 respectively). Although node position significantly influenced rooting percentage, there was no clear relationship between rooting and either P_n or cutting position within the stem. The number of roots per cutting was unaffected by node position. Strong positive correlations were found between cutting diameter and plant height, basal diameter ($P < 0.001$) and height to the first whorl of branches ($P < 0.05$) after three months growth. These correlations became weaker with time and disappeared after ten months growth, with the exception of height to the first whorl of branches, which remained constant. The practical implications of these results are discussed.

INTRODUCTION

A wide variety of factors are known to influence the rooting of leafy stem cuttings, of which the stockplant growth environment, and the cutting origin within the shoot, are among the most important (Leakey, Newton and Dick, 1994; Menzies, 1992). Although the influence of irradiance and nutrient availability on stockplant growth and development is widely appreciated, their effects on rooting of cuttings are less well understood (Moe and Andersen, 1988). Suboptimal fertilization in terms of shoot growth has often been found to result in a higher rooting percentage of subsequent cuttings (Moe and Andersen, 1988). The effects of irradiance during stockplant growth are more variable; increased irradiance may inhibit, delay, promote or have no effect on rooting (Moe and Andersen, 1988). Stockplants clearly require a certain minimal irradiance to produce cuttings that root successfully (Hartmann, Kester and Davies, 1990), but the optimum irradiance varies from species to species and sometimes between cultivars (Moe and Andersen, 1988). Interactions between irradiance and nutrient availability have also been reported: in *Triplochiton scleroxylon*, for instance, Leakey and Storeton-West (1992) found that the addition of fertilizers improved rooting of cuttings from stockplants grown under high irradiance, but had the opposite effect on cuttings from low irradiance. Few other studies have investigated such interactions.

Variation in rooting ability of cuttings from different parts of the same shoot has been recorded repeatedly (Hartmann *et al.*, 1990; Leakey, 1983; Leakey and Mohammed, 1985; Lo, 1985). This has been attributed to gradients in plant growth regulators and rooting co-factors within the shoot (Hartmann *et al.*, 1990; Leakey *et al.*, 1992); shoot morphology (Leakey, 1983; Leakey and Mohammed, 1985; Leakey *et al.*, 1994); starch and sugar content (Leakey and Coutt, 1989) and nutrient content (Tchoundjeu, 1989). There are also

within-shoot gradients in leaf water potential (Leakey, 1983), and the amount and quality of irradiance received by the leaves (Leakey and Storeton-West, 1992). However, the physiological basis for the variation in rooting ability related to cutting origin is still largely unclear.

This paper describes three experiments which investigated the effect of pre-severance factors on the rooting of cuttings of *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken (Boraginaceae), and their influence on subsequent plant growth. *C. alliodora* is an important timber species distributed from central Mexico to northern Argentina (Greaves and McCarter, 1990), and is widely used both in pure plantations and agroforestry systems throughout the tropics. A genetic improvement programme with this species is currently in progress in Costa Rica (Mesén, Boshier and Cornelius, 1994). As part of this programme, vegetative propagation techniques are being developed to facilitate multiplication and use of selected genotypes. The three experiments reported here assessed, respectively: (i) the effects of irradiance environment and nutrient addition on stockplant growth, photosynthetic characteristics and rooting ability of subsequent cuttings, (ii) the effect of cutting position within the shoot on rooting physiology, and (iii) the effect of cutting position on subsequent growth characteristics of the plants.

MATERIALS AND METHODS

The experiments were carried out at the nursery of the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) in Turrialba, Costa Rica (9°54' N Lat., 83°40' W Long, 600 m.a.s.l.). Low technology non-mist propagators were constructed following the design of Leakey *et al.* (1990). Plants were derived from the open pollinated progeny of plus trees selected by the CATIE Tree Improvement Project (TIP) in Costa Rica. The seedlings were

grown at 1 m spacing in the CATIE nursery, and were cut back to maintain a supply of coppice shoots which were used as a source of cuttings to build up clonal populations. Rooted cuttings were potted into black polythene bags (600 cm³) containing a 1:1:1 mixture of forest soil, sand and organic compost, then weaned under shade and decreasing watering (from automatic mist irrigation to once-daily watering) during a 2-3 week period. After weaning, cuttings were planted in beds beside the original stockplant, at a spacing of 20 cm x 20 cm. The clonal plants were given fortnightly applications of a powder fertilizer (FERTICA, Puntarenas, Costa Rica) containing 10%N, 30%P and 10%K, at a rate of approximately 30 g per plant. The beds were made up of the potting mixture described above. Mean annual rainfall in Turrialba is 2600 mm, with no month below 50 mm. In consequence, watering was not usually necessary, but the plants were watered to field capacity when there was no rain for two consecutive days (typically in January and February).

Experiment 1

Twenty plants from each of clones 2, 4, 8, 19 and 63 were cut back to a standard height of 10 cm. Ten plants from each clone were then allocated randomly to one of two shade treatments. Within each treatment, five plants from each clone were selected randomly and given fortnightly soil applications of 7.5 g of a powder fertilizer (FERTICA, Puntarenas, Costa Rica), containing 10% N, 30% P and 10% K. In the shaded treatment the plants were raised under a layer of black plastic netting placed at a height of 1.5 m above the ground, while in the higher irradiance treatment the plants were raised in the open immediately nearby. Three weeks after coppicing, the plants were pruned to a single shoot. Shoot height was measured weekly, and irradiance in both the shaded and open treatments was recorded for the duration of the growing period using two quantum sensors (Skye Instruments Ltd.,

Llandrindod Wells, U.K.) connected to a 21X Micrologger (Campbell Scientific Ltd., Loughborough, England). The logger was programmed to record every 10 s, and to calculate and store mean readings every 15 min.

Sixteen weeks after coppicing, measurements of net photosynthetic rate and stomatal conductance were taken on two consecutive days, in a sample of five plants from each treatment, one from each clone, on the first fully developed leaf from the top of each plant. For these measurements, a portable gas exchange system with infra-red gas analyser (LCA-3 IRGA, Analytical Development Company Ltd., Hoddesdon, Herts., U.K.) was used, attached to a Parkinson leaf chamber (Analytical Development Co. Ltd., Hoddesdon, U.K.). At the same time, five leaves from each clone/treatment combination were harvested for assessment of specific leaf area (SLA). Measurements of leaf area (s) using an area meter (Delta T Devices, Burwell, Cambridgeshire, U.K.) and dry mass (D , oven dry mass after drying at 80 °C for 24 h) were taken, and SLA calculated as: $SLA = s/D$ ($m^2 g^{-1}$)

After the gas exchange measurements were completed, the soft apical tip of each shoot was discarded and six single-node leafy stem cuttings were taken from each stem. Leaf area of each cutting was trimmed to 30 cm² using paper templates. Indole-3-butyric acid (IBA) in methanol solution at a concentration of 1.6% was applied to the clean-cut base of the cuttings in a 10 µl drop, using a micrometer syringe. The alcohol was immediately evaporated off in a stream of cold air from a fan before inserting the cuttings in the non-mist propagators in 20 randomized blocks, keeping record of clone and node position. The rooting medium was washed river sand. Each cutting was lifted and assessed for number of roots at weekly intervals.

Experiment 2

Stockplants from clones 18, 19, 22, 23, 25, 29, 33, 35, 37 and 38 were cut to a height of 20 cm. Three weeks later, stockplants were pruned to the three most vigorous shoots. When the shoots had grown to heights of 30-40 cm, the tip of each shoot was discarded and six single-node, leafy stem cuttings were taken sequentially down the stem, and their leaf areas trimmed to 30 cm². IBA was applied to the base of the cuttings as described in Experiment 1, before inserting the cuttings in sand in non-mist propagators. The cuttings were allocated to eight randomized blocks, each block containing 60 cuttings (ten clones x six cutting positions in the shoot). One week after insertion, the stem length and midpoint diameter of each cutting were measured. Each cutting was assessed for number of roots at weekly intervals.

Measurements of leaf, air and substrate temperature, relative humidity and irradiance inside the propagator were recorded for the duration of the experiment using a 21X Micrologger (Campbell Scientific Ltd., Loughborough, England). Air temperature was measured using thermocouples (Type K chromel-alumel; T.C., Ltd., Uxbridge, U.K.), humidity using a thermistor probe (MP. 100 Rotronic probe, Campbell Scientific Ltd., Loughborough, U.K.), substrate temperature using a 107-thermistor probe (Campbell Scientific Ltd., Loughborough, U.K.) and irradiance using quantum sensors (Skye Instruments Ltd., Llandrindod Wells, U.K.) All sensors of each type were cross-calibrated prior to use. The logger was programmed to record each sensor every 10 s, and to calculate and store mean readings every 15 min.

Photosynthetic rates and stomatal conductance were measured *in situ* in six randomly selected cuttings (including all node positions) from clones 18, 19, 22, 23 and 29 on days 14, 21 and 28 after insertion. For these measurements, a portable gas exchange system with infra-red

gas analyser (IRGA) attached to a Parkinson leaf chamber was used, as described above.

Experiment 3

Rooted cuttings from six node positions were obtained from clones 2, 6 and 37 and potted in polythene bags (600 ml) containing a mixture of forest soil, sand and compost (1:1:1 by volume), keeping record of clone and node position. The potted cuttings were kept for three weeks in a greenhouse, where they received decreasing watering, from periodical irrigation with an automatic mist system to once daily watering by the end of the third week. The plants were then placed 10 cm apart in open beds in the nursery, arranged in five randomized blocks containing 18 plants each, three from each clone/node position. One row of similarly size plants was arranged as a border. Irrigation and weeding were carried out by hand, when necessary. Plants were assessed monthly for basal shoot diameter, total shoot height and height to the first whorl of branches.

Data analysis

Analyses of variance were carried out using SAS (1980) on plant height, SLA, percentage rooting and number of roots per rooted cutting in Experiment 1, and shoot basal diameter, shoot height and height to the first whorl of branches in Experiment 3, followed by a multiple range test to assess treatment differences. Percentage values were arcsin transformed prior to analysis. Analyses of deviance by stepwise regression in GENSTAT 5 (Payne *et al.*, 1987) were carried out to determine the influence of treatment and non-treatment variables on the cuttings' rooting ability in Experiments 1 and 2. To determine the influence of treatments applied to the stockplants on their net photosynthetic rate and stomatal conductance, stepwise regression was carried out using GENSTAT 5 (Payne *et al.*, 1987).

RESULTS

Experiment 1

Irradiance varied greatly between the shaded and the unshaded treatments, with means of 236 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (range: 0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ - 2274 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (range: 0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ - 852 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), respectively, during the growing period. At the end of sixteen weeks, shoot height was significantly higher under high irradiance ($p = 0.001$, ANOVA), but the application of NPK did not have a significant effect on shoot growth. Plants under the low irradiance/high nutrient treatment were significantly shorter than under the other three treatments (Fig. 1). Clones also showed highly significant ($p < 0.001$) differences in shoot growth at the end of sixteen weeks, mean values varying between 41.07 cm for clone 2 to 26.96 cm for clone 8.

Highly significant differences ($p < 0.001$) in SLA were found between irradiance treatments, and for the interaction between irradiance and nutrients. Under high irradiance, SLA significantly ($p < 0.05$) increased with the application of NPK (2.47 and 2.98), while the difference between nutrient treatments under low irradiance was non-significant (3.46 and 3.01). Significant ($p < 0.01$) differences between treatments were also recorded for net photosynthetic rate (P_n) and stomatal conductance (g_s). Mean P_n was higher under high irradiance, although within each irradiance treatment the application of NPK did not have any significant effect (Fig. 2a). In contrast, g_s was lower under high irradiance, and the application of NPK caused a significant reduction in g_s under low irradiance (Fig. 2b). When the results were analysed by stepwise regression, P_n was found to be highly ($p < 0.001$) dependent on g_s .

The irradiance treatment under which the stockplants were grown did not significantly affect the rooting percentage of subsequent cuttings after six weeks (50.0% and 54.0% for low and high irradiance, respectively), but the application of nutrients to stockplants significantly ($p < 0.05$) reduced the rooting percentage of subsequent cuttings in both irradiance treatments (Fig. 3a). In terms of number of roots per rooted cutting there was no significant difference between nutrient treatments, but the cuttings produced significantly ($p < 0.001$) fewer roots when the stockplants were grown under high irradiance (Fig. 3b).

On average, cuttings were shorter (31 cm) and thinner (2.8 mm diameter) in stockplants grown under low irradiance as compared to the high irradiance treatment (45 cm and 3.7 mm respectively) and generally, the application of nutrients caused a reduction in both cutting length and cutting diameter. No clear relationships were found between cutting length and node position within the stem, while in every treatment, cutting diameter increased from apical to basal nodes. In this experiment, no clear relationships were found between cutting morphology and rooting ability.

There were highly significant differences ($p < 0.001$) between clones for both rooting percentage and number of roots per rooted cutting. Clones 19 and 63 displayed the highest rooting percentage (69.2% and 63.3%), whilst clone 4 displayed the lowest (29.2%). A roughly opposite trend was observed for mean number of roots per rooted cutting, with clones 2, 4 and 8 producing more roots (6.8, 7.2 and 7.6, respectively) than clones 19 and 63 (5.8 and 5.1 roots per cutting, respectively). When the rooting data were analysed by stepwise regression, rooting was found to be significantly affected by block, clone and application of NPK to the stockplants, but not by the irradiance treatment or node position.

Experiment 2

A maximum irradiance of $556 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ was recorded inside the propagator during the course of the experiment, which represents approximately 30% of the maximum irradiance recorded in open conditions in Turrialba. However, pronounced variation in air, foliar and substrate temperatures was recorded (Table 1). When values of PAR were correlated with VPD, a strong positive correlation was observed ($y = 0.564 + 0.003 x$; $r^2 = 0.71$).

Nine weeks after insertion, highly significant differences ($p < 0.01$) were recorded between node positions and clones, with respect to rooting percentage. A significant interaction ($p < 0.05$) between clone and node position was also recorded. Rooting percentage did not show a clear relationship to node position, varying between 21.3% for node 2 to 46.3% for node 5 (Fig. 4). Large variation in rooting was observed between clones, values ranging between 6.3% (clone 23) to 70.8% (clone 22) (Fig. 5). No significant differences were obtained for number of roots per rooted cutting. Stepwise regression revealed that rooting percentage was significantly influenced by clone, node position, cutting length and cutting diameter. Mean cutting diameter increased from 3.8 mm to 5.0 mm from node 1 to node 6 (Fig. 6a), but mean cutting length did not show any systematic relation to node position, varying between 35.4 mm for node 3 to 39.8 mm for node 6 (Fig. 6b).

Photosynthetic rates of between $0.68 - 6.70 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ were recorded in cuttings during propagation. Stepwise regression showed that all the variables tested had a significant influence on photosynthetic rate. However, PAR and g , accounted for the largest proportion of the total variation (58.7% and 14.0%, respectively), while clone (2.6%) and node position (1.5%) had a smaller effect. On average, apical (1 and 2) and basal (6) nodes displayed

higher P_n values, while nodes 3-5 showed the lowest values (Fig. 7). Stomatal conductances varied between 18.0 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ and 680.0 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ during propagation. Stepwise regression revealed that g_s was significantly influenced by PAR and clone, but not by node position, with values of around 250 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ for all node positions. When values of PAR were correlated with P_n , a strong positive correlation was recorded ($y = 0.203 + 0.010 x$; $r^2 = 0.80$).

Experiment 3

After three months growth in the nursery there were highly significant ($p < 0.001$) differences between node positions in shoot basal diameter, and in height to the first whorl of branches ($p < 0.05$). Analysis of variance did not indicate any significant differences in total shoot height which varied between 34.4 to 38.9 cm in nodes 1 and 6 respectively. Basal shoot diameter varied between 4.4 - 5.3 mm and height to first whorl of branched ranged between 29.6 - 34.3 cm in nodes 1 and 6 respectively. When these variables were correlated with mean cutting diameter, strong positive correlations were observed (Fig. 8a,b,c).

After six months growth in the nursery, the correlations between cutting diameter and basal shoot diameter and height to the first whorl were less pronounced than after three months; there was no significant correlation with shoot height. After 10 months growth, no significant correlations were found between shoot height or basal diameter in relation to cutting diameter ($r^2 = 0.05$ and 0.35 respectively). The correlation between cutting diameter and height to the first whorl remained significant, as expected ($y = -13.66 + 12.00 x$; $r^2 = 0.92$). Clones showed a similar trend to that at six months for total shoot height and height to the first whorl of branches, with clone 2 showing significantly higher values for these variables.

DISCUSSION

C. alliodora is a pioneer, fast-growing tree, particularly characteristic of secondary vegetation (Greaves and McCarter, 1990; Ramos and Grace, 1990). In this regard, the higher shoot growth of stockplants grown under high irradiance was expected. Although height growth of other tropical species, such as *Triplochiton scleroxylon* (Leakey and Storeton-West, 1992) and *Eucalyptus grandis* (Hoad and Leakey, 1992) has been shown to be higher under low irradiance, this is primarily attributable to increased internode elongation under the low Red:Far-red ratios often associated with shadelight. In the present study, the shading materials used were spectrally neutral, and the differences in shoot growth were probably more influenced by the overall photosynthetic rates, which were higher under high irradiance. These higher photosynthetic rates were associated with lower specific leaf areas (and hence higher chlorophyll content per unit leaf area). Plants under high irradiance also showed lower stomatal conductances, in agreement with the findings of Ramos and Grace (1990). This decline in stomatal conductance with increased irradiance has not been fully explained, but may be a result of a rise in leaf temperature, with a consequent increase in leaf-to-air VPD (Ramos and Grace, 1990).

Very few other studies have assessed the influence of both irradiance and nutrient supply on rooting. Leakey and Storeton-West (1992) grew stockplants of *Triplochiton scleroxylon* under irradiances of 250 and 650 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ with and without added NPK, under controlled environment conditions. Pre-severance photosynthetic rates were on average more than double in the plants grown under the lower irradiance. NPK had no effect on photosynthesis at the lower irradiance, but increased it at the higher irradiance. This contrasts with results from the present investigation, where photosynthetic rates were higher under high irradiance, and no

effect of NPK was recorded. With respect to rooting, in *T. scleroxylon* NPK increased rooting percentage at high irradiance but reduced it at low irradiance (Leakey and Storeton-West, 1992). Again, this contrasts with results from the current investigation, where no effect of NPK on rooting was recorded at high irradiance. However, a similar decline in rooting percentage was recorded with NPK under low irradiance.

On the basis of results with *T. scleroxylon*, Leakey and Storeton-West (1992) suggested that the contrasting effects on NPK and irradiance on rooting are attributable to their effects on the photosynthetic ability of the shoots. For example, under high irradiance, the increase in photosynthesis resulting from NPK application was accompanied by an increase in rooting. The results of the current investigation are consistent with this hypothesis, even though neither photosynthesis or rooting percentage were effected by NPK under high irradiance. This lack of response presumably reflects the different growth conditions employed: the experiment described by Leakey and Storeton-West (1992) employed an artificially high R:FR ratio of 6.3. However, the reduction in rooting percentage following application of NPK to plants grown under low light is of particular interest, as it was consistent in both investigations. Although negative effects of stockplant fertilization on rooting have been recorded in a number of species (Moe and Andersen, 1988; Hartmann *et al.*, 1990), the physiological basis to this response is not well understood. On the basis of current results, and those of Leakey and Storeton-West (1992), the effect is apparently not attributable to any effect of NPK on photosynthetic rate, although lower stomatal conductance was recorded in NPK-treated plants in the current investigation. Perhaps significantly, foliar starch content of *T. scleroxylon* was reduced by NPK addition under low irradiance, even though it was increased by NPK addition under high irradiance. This suggests that NPK addition may have a negative influence on

carbohydrate storage, perhaps by increasing respiration rate.

In contrast to the results with rooting percentage, the high light treatment reduced the number of roots per rooted cutting, whereas NPK had no effect. A similar reduction in root numbers at high irradiance was recorded by Leakey and Storeton-West (1992), an effect which was attributed to the earlier establishment of dominance by the first-formed roots. Similar results were obtained by Baadsmann and Andersen (1984) with *Pisum sativum*, where the exposure of stockplants to high irradiance increased the transport of auxin to the base of subsequently taken cuttings, as a result of the higher tissue temperatures recorded.

Although a number of authors have indicated that carbohydrates produced during propagation may be important for root development (Davis, 1988, Leakey *et al.*, 1994), very few studies have measured rates of gas exchange in cuttings. The photosynthetic rates of between 0.68 and 6.70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ during propagation compare with values of 0-6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ recorded in a similar propagation system with *Terminalia spinosa* (Newton, Muthoka and Dick, 1992). These results indicate clearly that cuttings of *C. alliodora* are capable of photosynthesis during propagation, as long as irradiance and water availability permit. However, the results do not provide any clear indication of the importance of post-severance production of carbohydrate for root development. The lack of a clear relationship between photosynthetic rate and rooting of cuttings from different node positions suggests that other factors, such as content of carbohydrate produced pre-severance, may also have been influential.

In these experiments no attempt was made to investigate the physiological basis of clonal variation in any detail. Genetic effects are among the least studied factors that control or

modify rooting by cuttings (Haissig and Riemenschneider, 1988). Clones vary in their concentrations of endogenous auxin, rooting cofactors or inhibitors, anatomy, leaf retention and many other interacting factors, all of which are likely to contribute to clonal differences in rooting ability (Leakey *et al.*, 1994). The pronounced clonal variation in rooting behaviour recorded here was not easily explicable in terms of variation in the growth or gas exchange characteristics observed. However, those clones which displayed higher rooting percentages, tended to be associated with a smaller number of roots per rooted cutting. The reasons for this are not clear, but may reflect variation in concentrations of endogenous auxins.

Although node position significantly affected rooting percentage of *Cordia alliodora*, no clear trend in rooting was evident with respect to position, nor with respect to rates of net photosynthesis and stomatal conductance. These results contrast markedly with those obtained with *Triplochiton scleroxylon*, where rooting percentage declined basipetally, with lower percentages recorded at each node position (Leakey, 1983). Such variation in rooting may be attributed to gradients within the stem in leaf and stem morphology, lignification, and content of starch, sugar and plant growth regulators (Leakey *et al.*, 1994). In particular, the stem length, diameter and therefore volume of a cutting has been shown to be closely related to rooting in a number of species (Leakey and Mohammed, 1985; Leakey *et al.*, 1994), reflecting the importance of the stem for storage of assimilates produced pre- and post-severance (Leakey *et al.*, 1994). Although a clear trend in cutting diameter with respect to node position was recorded here, this trend was not clearly related to rooting percentage, suggesting that the factors influencing rooting of *Cordia alliodora* vary in a complex manner with respect to the position of the cutting within a shoot. The fact that the shoots used in this study were relatively short (< 40 cm) may have contributed to the lack of a clear pattern.

The effect of node position on subsequent height growth, basal diameter and height to the first whorl of branches, which persisted for at least three months after the cuttings were weaned, is of particular interest. All three variables increased from the apical to the basal nodes, and showed a positive correlation with cutting diameter. The effects of these nongenetic factors, called C-effects (Lerner, 1958) or more specifically *m*-effects, when referring to characteristics of individual propagules (Burdon and Shelbourne, 1974), have been shown to influence the rooting ability of cuttings, but there is little information concerning their effects on the subsequent development of the ramet. Node position presumably affected subsequent growth through its relationship with storage capacity for nutrients and carbohydrates. How is less clear why the height to the first whorl was also affected. *C. alliodora* produces branches in tiers along the stem, and cuttings were always collected before the formation of the first tier. The results suggest that cuttings from apical internodes, being closer to the first tier of branches within the plant, would regenerate such structure at a lower height than cuttings from basal nodes. This may reflect pre-severance gradients in concentrations of growth substances controlling correlative inhibition.

After six months growth of the plants, the initial effect of node position on total height and basal diameter was eliminated, as environmental factors presumably became more influential. This was reflected by the relationship between these two variables and cutting diameter, which became less pronounced after six months and disappeared after ten months. This loss of significant growth differences attributable to C-effects after a period of field growth has also been reported for *Triplochiton scleroxylon* (Howland and Bowen, 1977). However, the height to the first whorl of branches, being a fixed characteristic, remained constant, which may have long-term implications for tree form as well as growth. For example in *T.*

scleroxylon, a negative relationship between timber yield and branching frequency was recorded when the trees were five years of age (Ladipo *et al.*, 1991a,b).

The results of this investigation indicate clearly that *Cordia alliodora* can be rooted relatively easily using a low technology non-mist propagation system, confirming previous results (Leakey *et al.*, 1990). Rooting of this species is clearly sensitive to the stockplant growth environment, suggesting that the pre-severance irradiance and nutrient availabilities need to be carefully matched if rooting is to be optimized. In addition, care should also be taken to match the pre- and post-severance environments. Stockplants grown under high irradiance tend to have a higher light compensation point and a higher respiration rate than those grown under low irradiance (Moe and Andersen, 1988). When such cuttings are set to root at lower irradiances, as in the present study, the cuttings often root less well (Moe and Andersen, 1988). In general, the measurements of propagator microclimate recorded here are in the same range as those recorded in similar propagation systems elsewhere (Newton and Jones, 1993a; Newton *et al.*, 1992). Previous measurements have indicated that significant water deficits may occur in cuttings of *C. alliodora* in non-mist propagators, associated with peaks in VPD and PAR (Newton and Jones, 1993b). The occurrence of such deficits, which may have a negative effect on rooting, may be minimised by the use of shading and by spraying the cuttings with water when the propagator lid is opened (Newton and Jones, 1993a). The close relationship recorded here between post-severance photosynthesis and PAR further emphasizes the need to consider management of propagator microclimate during propagation of this species.

Acknowledgements. The authors thank the United Kingdom Overseas Development

Administration and British-Council for financial support, CATIE for logistic support and the staff of the CATIE Tree Improvement Project for their help during the experimental work. This research was completed under the ITE/CATIE Link Project.

REFERENCES

- BAADSMAND, S. and ANDERSEN, A. S. (1984). Transport and accumulation of indole-3-acetic acid in pea cuttings under two levels of irradiance. *Physiologia Plantarum*, 61, 107-113.
- BURDON, R. D. and SHELBORNE, C. J. A. (1974). The use of vegetative propagules for obtaining genetic information. *New Zealand Journal of Forest Science*, 4, 418-425.
- DAVIS, T. (1988). Photosynthesis during adventitious rooting. In: *Adventitious root formation in cuttings* (Davis, T. D., Haissig, B. E. and Sankhla, N., Eds). Dioscorides Press, Portland, Oregon, USA, 79-87.
- GREAVES, A. and McCARTER, P. S. (1990). *Cordia alliodora - A promising tree for tropical agroforestry*. Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford. Tropical Forestry Papers No. 22. 37 pp.
- HAISSIG, B. E. and RIEMENSCHNEIDER, D. E. (1988). Genetic effects on adventitious rooting. In: *Adventitious root formation in cuttings* (Davis, T. D., Haissig, B. E. and Sankhla, N., Eds). Dioscorides Press, Portland, Oregon, USA, 47-60.
- HARTMANN, H. T., KESTER, D. E. and DAVIES, F. T. (1990) Plant propagation - principles and practices. 5th. ed. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall. 647 pp.
- HOAD, S. P. and LEAKEY, R. R. B. (1992). Morphological and physiological factors induced by light quality and affecting rooting in *Eucalyptus grandis*. In: *Mass production technology for genetically improved fast growing forest tree species*.

- AFOCEL, Nangis, France, 51-58.
- HOWLAND, P. and BOWEN, M. R. (1977). *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. and other West African Tropical hardwoods. West African Hardwoods Improvement Project. Research Report 1971-1977. Forestry Research Institute of Nigeria. 154 pp.
- LADIPO, D. O., LEAKEY, R. R. B. and GRACE, J. (1991a). Clonal variation in a four-year-old plantation of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. and its relation to the predictive test for branching habit. *Silvae Genetica*, **40** (3/4), 130-135.
- LADIPO, D. O., LEAKEY, R. R. B. and GRACE, J. (1991b). Clonal variation in apical dominance of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. in response to decapitation. *Silvae Genetica*, **40** (3/4), 135-140.
- LEAKEY, R. R. B. (1983). Stockplant factors affecting root initiation in cuttings of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum., and indigenous hardwood of West Africa. *Journal of Horticultural Science*, **58** (2), 277-290.
- LEAKEY, R. R. B. and MOHAMMED, H. R. S. (1985). The effects of stem length on root initiation in sequential single-node cuttings of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. *Journal of Horticultural Science*, **60** (3), 431-437.
- LEAKEY, R. R. B. and STORETON-WEST R (1992). The rooting ability of *Triplochiton scleroxylon* cuttings: the interactions between stockplant irradiance, light quality and nutrients. *Forest Ecology and Management*, **49**, 133-150.
- LEAKEY, R. R. B., DICK, J. McP. and NEWTON, A. C. (1992). Stockplant-derived variation in rooting ability: the source of physiological youth. In: *Mass production technology for genetically improved fast growing forest tree species*, AFOCEL, Nangis, France, 171-178.
- LEAKEY, R. R. B. and COUTTS, M. P. (1989). The dynamics of rooting in *Triplochiton*

- scleroxylon* cuttings: their relation to leaf area, node position, dry weight accumulation, leaf water potential and carbohydrate composition. *Tree physiology*, 5, 135-146.
- LEAKEY, R. B. B., MESÉN, J. F., TCHOUNDJEU, Z., LONGMAN, K. A., DICK, J. McP., NEWTON, A., MATIN, A., GRACE, J., MUNRO, R. C. and MUTHOKA, P. N. (1990). Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forest Review*, 69 (3), 247-257.
- LEAKEY, R. R. B., NEWTON, A. C. and DICK, J. McP. (1994). Capture of genetic variation by vegetative propagation: processes determining success. In: *Tropical trees: the potential for domestication and the rebuilding of forest resources*, (Leakey, R. R. B. and Newton, A. C., Eds). HMSO, London, 72-83.
- LERNER, I. M. (1958). *The genetic basis of selection*. John Wiley and Sons, N.Y., USA. 298 p.
- LO, Y. N. (1985). Root initiation of *Shorea macrophylla* cuttings: effects of node position, growth regulators and misting regime. *Forest Ecology and Management*, 12, 43-52.
- MENZIES, M. I. (1992). Management of stock plants for the production of cutting material. In: *Mass production technology for genetically improved fast growing forest tree species*, AFOCEL, Nangis, France, 257-270.
- MESÉN, J. F., BOSHIER, D. H. and CORNELIUS, J. P. (1993). Genetic improvement of trees in Central America with particular reference to Costa Rica. In: *Tropical trees: the potential for domestication and the rebuilding of forest resources*, (Leakey, R. R. B. and Newton, A. C., Eds). HMSO, London, 249-255.
- MOE, R. and ANDERSEN, A. S. (1988). Stockplant environment and subsequent adventitious rooting. In: *Adventitious root formation in cuttings* (Davis, T. D., Haissig, B. E. and

- Sankhla, N., Eds). Dioscorides Press, Portland, Oregon, USA, 214-234.
- NEWTON, A. C. and JONES, A. C. (1993a). Characterization of microclimate in mist and non-mist propagation systems. *Journal of Horticultural Science*, 68(3), 421-430.
- NEWTON, A. C. and JONES, A. C. (1993b). The water status of leafy cuttings of four tropical tree species in mist and non-mist propagation systems. *Journal of Horticultural Science*, 68(5), 653-663.
- NEWTON, A.C., MUTHOKA, P.N. and DICK, J. McP. (1992b). The influence of leaf area on the rooting physiology of leaf stem cuttings of *Terminalia spinosa* Engl. *Trees*, 6, 210-215.
- PAYNE, R. W., LANE, P. W., AINSLEY, A. E., BRICKNELL, K. E., DIGBY, P. G. N., HARDING, S. A., LEECH, P. K., SAMPSON, H. R., TODD, A. D., VERRIER, P. J. and WHITE, R. B. (1987). *GENSTAT 5: Reference manual*. Clarendon Press, Oxford.
- RAMOS, J. and GRACE, J. (1990). The effects of shade on the gas exchange of seedlings of four tropical trees from Mexico. *Functional Ecology*, 4, 667-677.
- SAS. (1980). *SAS User's guide: Statistics, Version 5 Edition*. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, U.S.A., 113-137.
- TCHOUNDJEU, Z. (1989). *Vegetative propagation of the tropical hardwoods Khaya ivorensis A. Chev. and Lovoa trichilioides Harms*. Ph.D thesis, University of Edindurgh.

Table 1. The microclimate inside the non-mist propagators during during the vegetative propagation of *Cordia alliodora* in Experiment 2 (see text).

Variable	Mean	Range
Relative humidity (%)	94.8	73.7 - 100
Air temperature (°C)	23.9	18.9 - 36.9
Substrate temperature (°C)	21.9	18.1 - 29.2
PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	31	0 - 556
Leaf temperature (°C)	25.1	20.3 - 37.0
VPD (kPa)	0.65	0.31 - 2.41

Fig. 1 The effect of irradiance and nutrient supply on the mean height of *Cordia alliodora* stockplants grown under low irradiance without NPK (circles) or with NPK (diamonds) and high irradiance without NPK (triangles) or with NPK (squares). Values are means of five clones ($n = 25$), bar = \pm standard error of the mean.

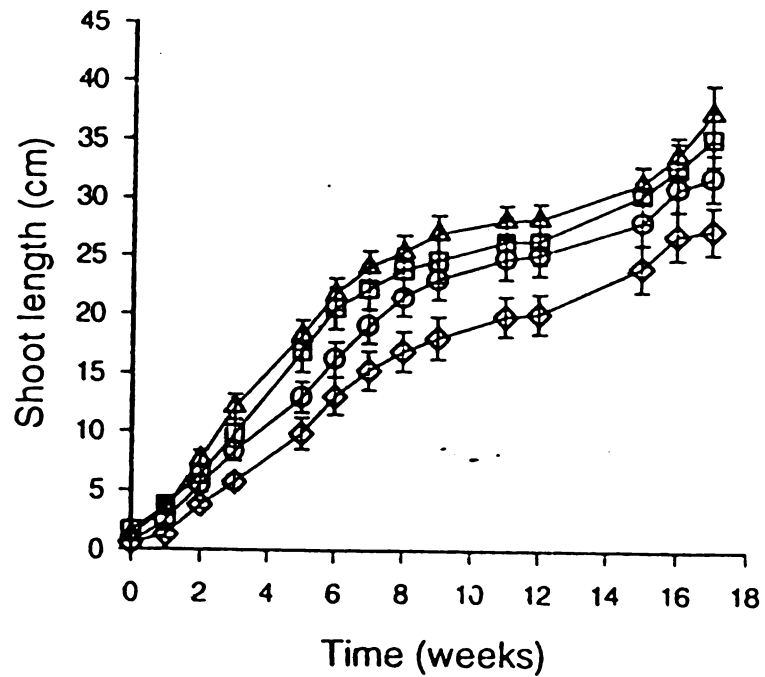


Fig. 2a,b The effect of irradiance and nutrient supply on (a) net photosynthetic rate per unit leaf area and (b) stomatal conductance of *Cordia alliodora* plants grown under low light (LL) or high light (HL), without NPK (open bars) or with NPK (shaded bars). $n = 25$, means grouped by the same letter are not significantly different ($t_{0.05}$).

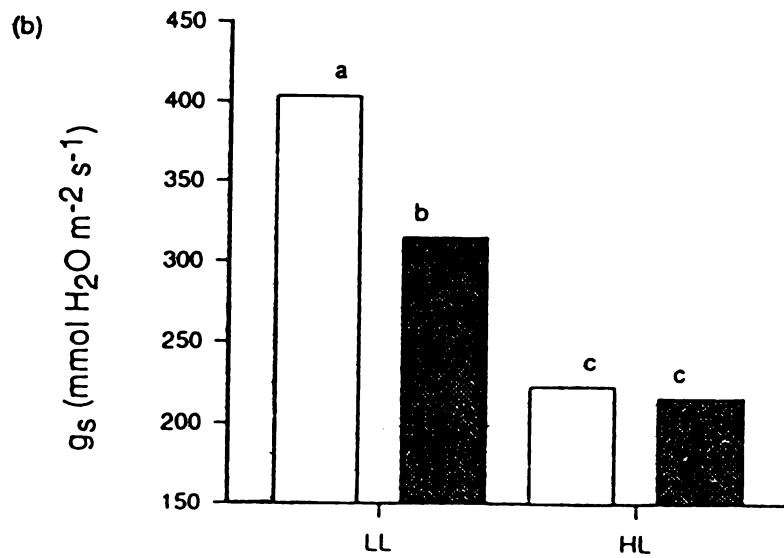
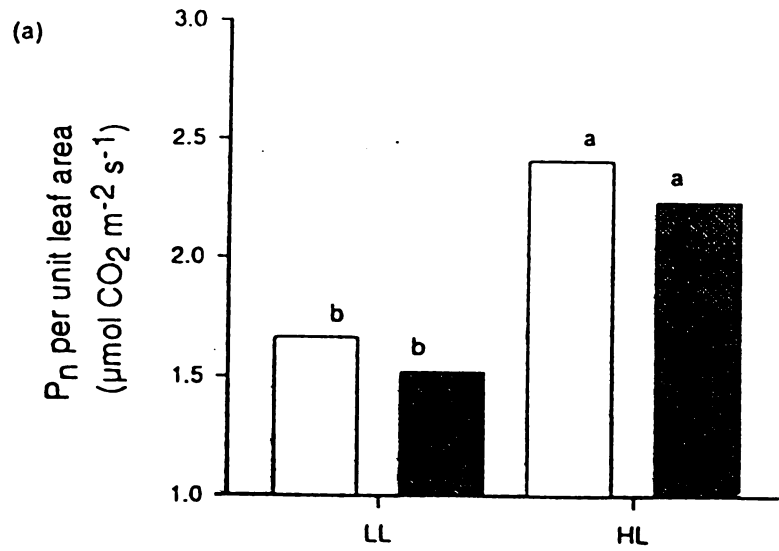


Fig. 3a,b The influence of irradiance and nutrients applied to *Cordia alliodora* stockplants on (a) the rooting percentage and (b) the number of roots per rooted cutting of single-node, leafy stem cuttings set to root in non-mist propagators. The cuttings were collected from stockplants grown under low light (LL) or high light (HL), without NPK (open bars) or with NPK (shaded bars). $n = 150$, means grouped by the same letter are not significantly different ($t_{0.05}$).

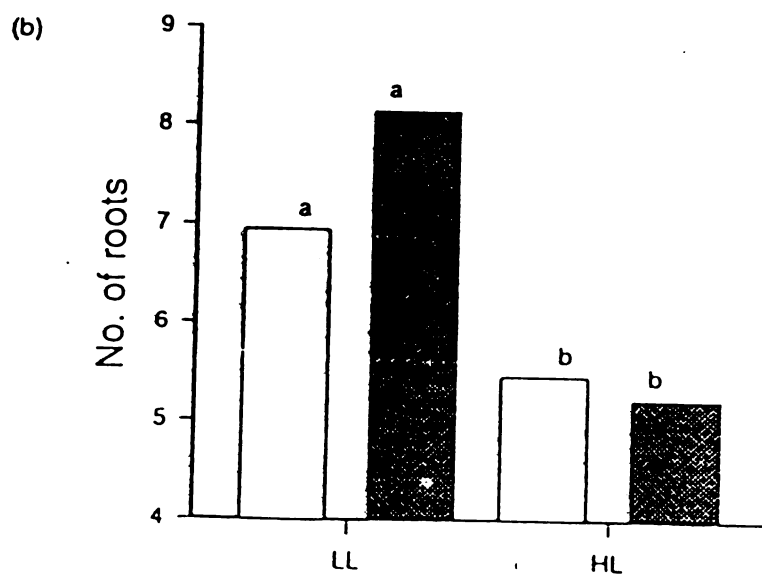
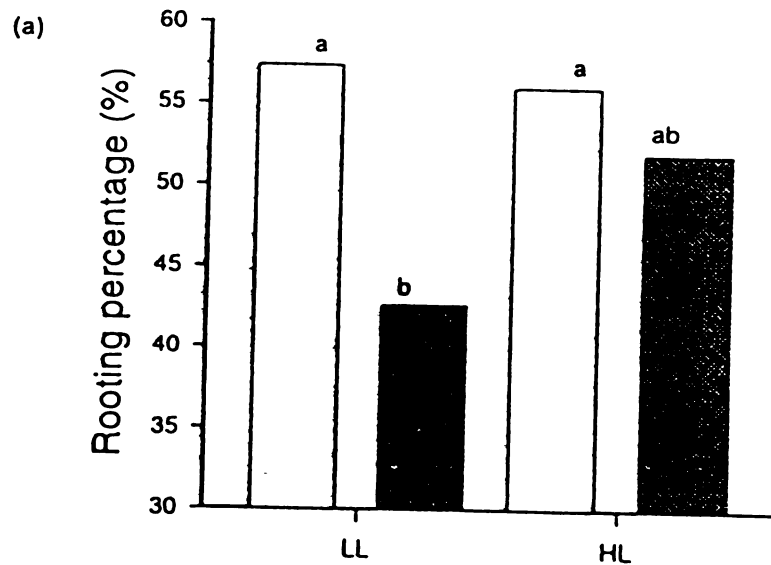


Fig. 4 The effects of node position within the stem on rooting percentage of single-node, leafy stem cuttings of *Cordia alliodora* after nine weeks in non-mist propagators. $n = 80$; means grouped by the same letter are not significantly different ($t_{0.05}$). Node 1, apical; node 6, basal.

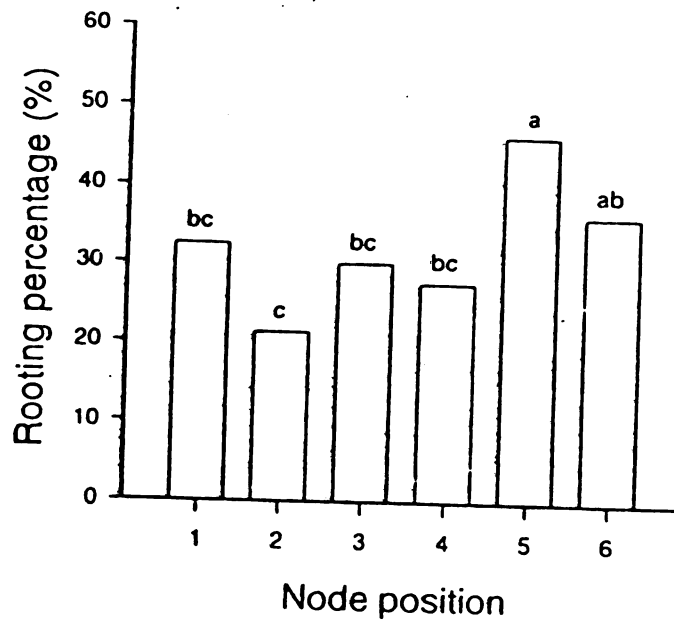


Fig. 5 Clonal variation in the rooting percentage of single-node, leafy stem cuttings of *Cordia alliodora* from six positions within the stem (apical to basal), after nine weeks in non-mist propagators. $n = 48$; means grouped by the same letter are not significantly different ($t_{0.05}$).

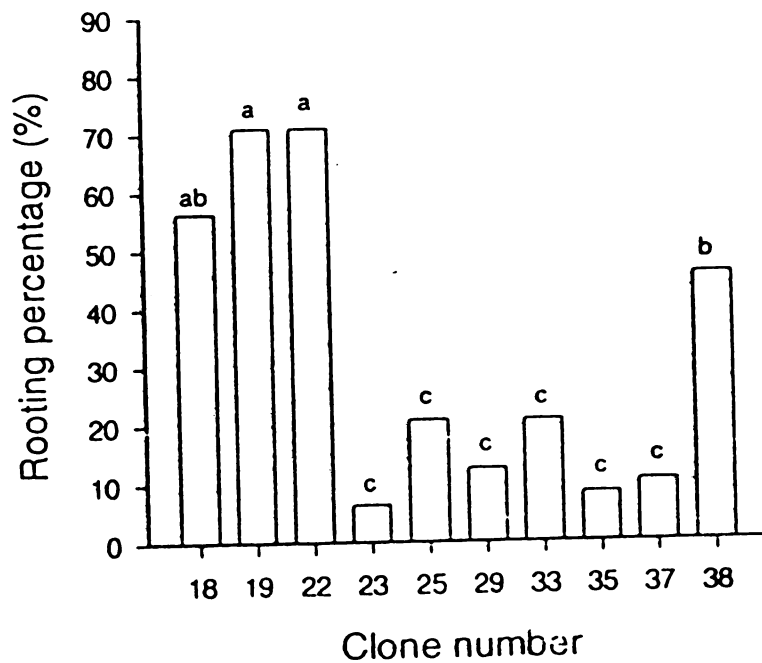


Fig. 6a,b The effect of node position within the stem on (a) mean cutting diameter and (b) mean cutting length of single-node, leafy stem cuttings from three different clones of *Cordia alliodora*. $n = 48$; means grouped by the same letter are not significantly different ($t_{0.05}$). Node 1, apical; node 6, basal.

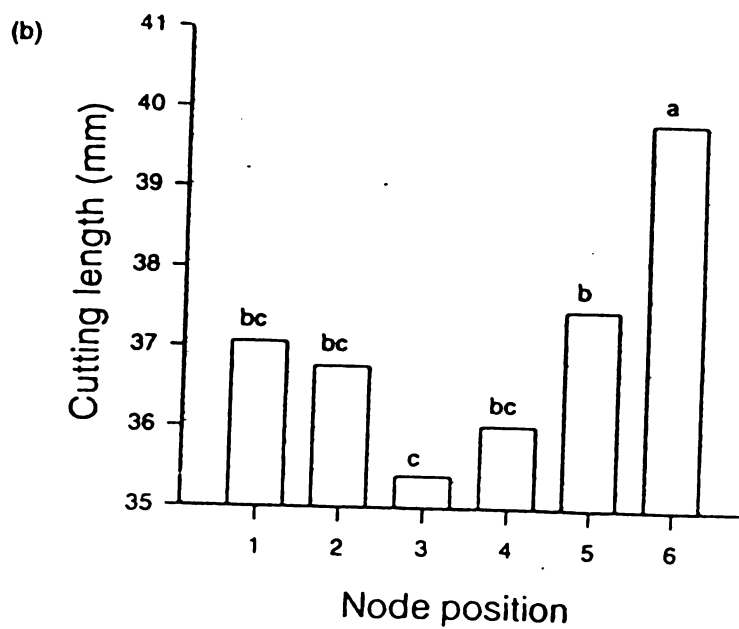
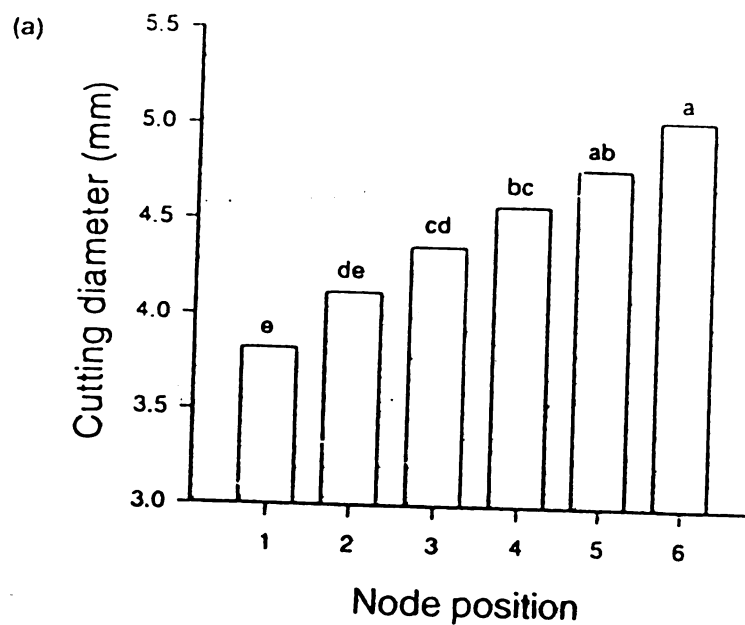


Fig. 7 The effects of node position within the stem on net photosynthetic rate per unit leaf area (P_n) of single-node, leafy stem cuttings of *Cordia alliodora*. Values are means of three measurements at weeks 1, 2, 3 and 4, on ten cuttings from each node position. Means grouped by the same letter are not significantly different ($t_{0.05}$).

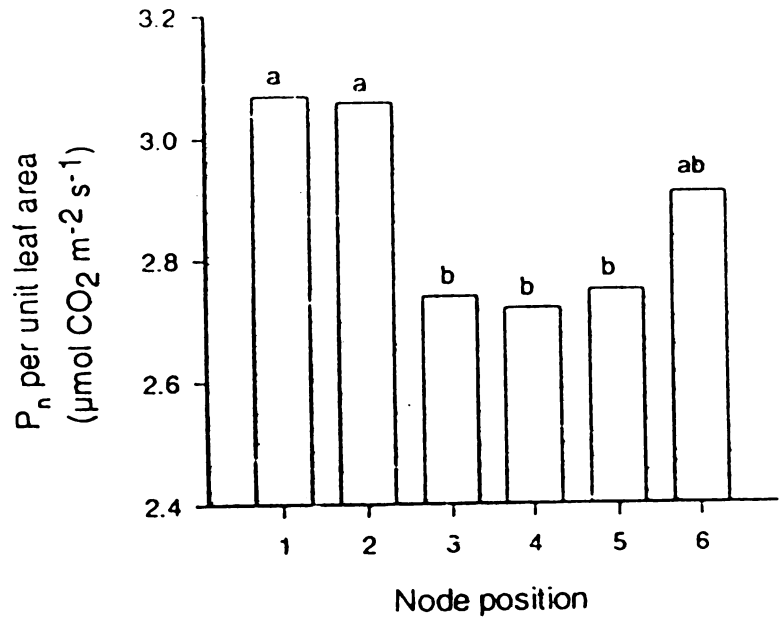
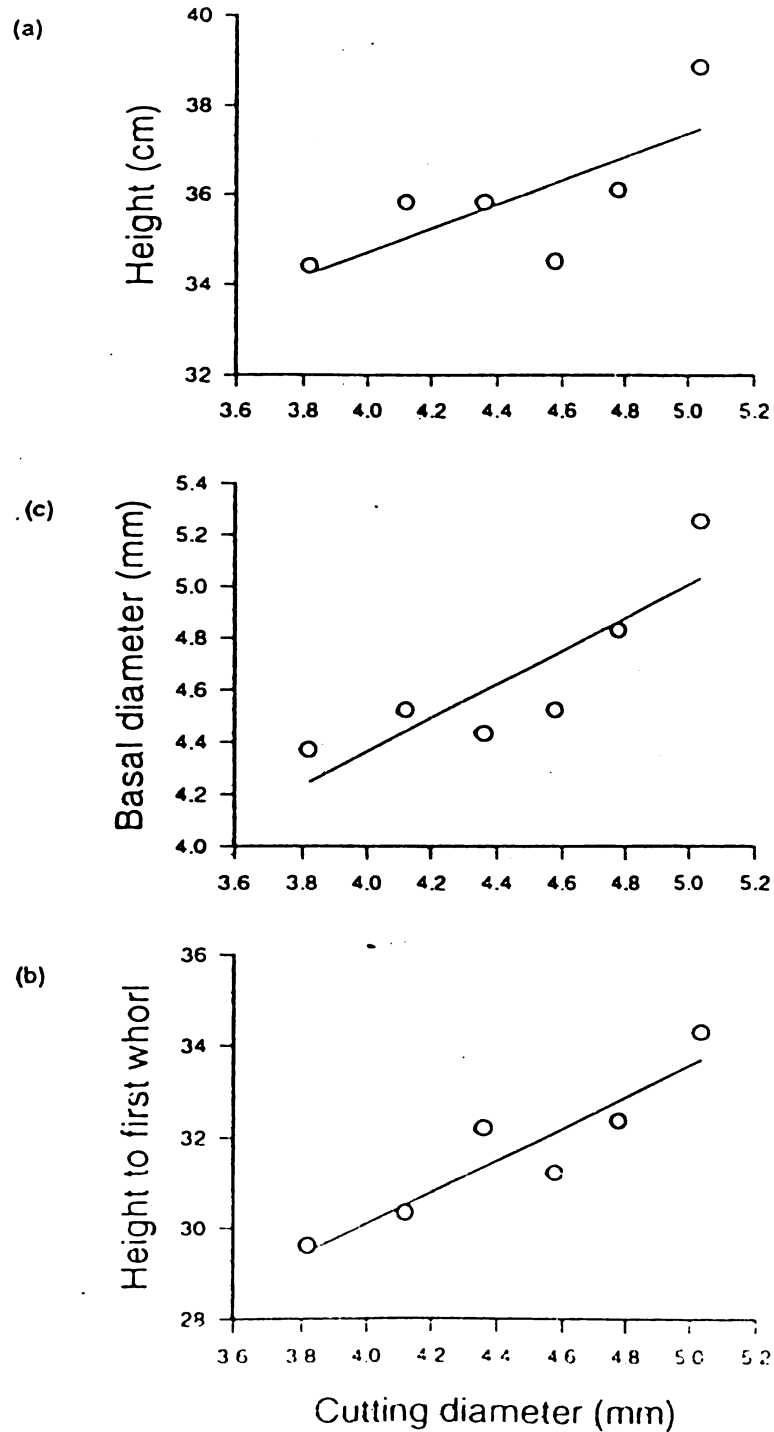


Fig. 8a,b,c The relationships between mean cutting diameter and (a) shoot height ($y = 24.160 + 2.640 x$; $r^2 = 0.73$), (b) shoot basal diameter ($y = 1.787 + 0.644 x$; $r^2 = 0.86$) and (c) height to the first whorl of branches ($y = 16.311 + 3.451 x$; $r^2 = 0.92$) of plants of *Cordia alliodora* from rooted cuttings after three months growth in the nursery.



Vegetative propagation of *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken. II. The effect of IBA concentration and propagation medium on rooting physiology

F. Mesén¹, A.C. Newton²⁺, R.R.B. Leakey^{2*}, J. Grace³

¹Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba 7170, Costa Rica.

²Institute of Terrestrial Ecology (ITE), Bush Estate, Penicuik, Midlothian, EH26 0QB, Scotland, U.K.

³Institute of Ecology and Resource Management, The University of Edinburgh, Kings Building, Mayfield Road, Edinburgh EH9 3JU, Scotland, U.K.

+Current address: Institute of Ecology and Resource Management, The University of Edinburgh, Kings Building, Mayfield Road, Edinburgh EH9 3JU, Scotland, U.K.

*Current address: International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), P.O. Box 30677, Nairobi, Kenya.

Summary. The effect of different concentrations of IBA and different rooting media on the rooting of single node, leafy stem cuttings of *Cordia alliodora* was investigated in two experiments using non-mist propagators. During the rooting period, changes in dry mass, photosynthetic rate, stomatal conductance, relative water content and chlorophyll fluorescence of the cuttings were assessed at regular intervals. In experiment 1, cuttings treated with 1.6% IBA achieved 70% rooting after nine weeks. Bud growth in cuttings was inhibited by increasing concentrations of IBA, which was associated with higher final rooting percentages. No significant differences in relative water content or dry mass were found between IBA concentrations during the rooting period. In experiment 2, cuttings rooted equally well in gravel (89%) and sand (88%), while rooting was reduced in sawdust (76%). The proportion of water in the rooting medium was the main substrate-related factor determining rooting ability. Cuttings actively photosynthesized during the rooting period, but it was not possible to establish a clear relationship between water or photosynthetic relations and rooting. Contrary to previous studies with this species, it was concluded that *C. alliodora* cuttings are easy to root, using the treatments and propagation system described here.

Key words: Vegetative propagation - Percentage rooting - IBA - Rooting medium - Photosynthesis - Water relations.

Introduction

Cordia alliodora (Ruiz & Pavon) Oken (Boraginaceae) is a valued timber tree widely distributed in continental tropical America from central Mexico to northern Argentina and parts of the Caribbean (Greaves and McCarter 1990). It has also been introduced to other tropical countries where, in some cases (e.g., Vanuatu), it has become the major reforestation species (Hudson 1984; Neil and Jacovelli 1985). Because of its value in Central America, natural regeneration is often maintained by farmers in combination with various perennial crops.

C. alliodora is found on a wide range of sites at altitudes from sea level to 2000 m (Greaves and McCarter 1990). In Central America it is found in both the Atlantic (0-900 m a.s.l.) and the Pacific regions (0-1800 m a.s.l.), but is most common in the former area, where the tallest and best-formed trees are found (Boshier and Mesén 1987; 1988). On these sites the bole has a monopodial growth habit, essentially straight, cylindrical and clear of branches for 50-60% of the total tree height. However, both in natural and in planted stands, the trees show a high variation both in growth and form, indicating the potential for improvement through genetic improvement techniques (Boshier and Mesén 1987).

A number of tree improvement programmes using traditional techniques are currently in progress with this species (Mesén *et al.* 1993). However, it is now widely appreciated that vegetative propagation and clonal selection offers the means to achieve the greatest genetic

gains in the shortest possible time (Zobel and Talbert 1984). In order to incorporate this species into a clonal programme, vegetative propagation techniques need to be developed to enable the multiplication of selected genotypes.

The experiments described here investigated the effects of rooting media and IBA concentrations on the rooting ability of single-node cuttings of *Cordia alliodora*, using low technology, non-mist propagators as described by Leakey *et al.* (1990). This propagation system is relatively cheap and easy to maintain, and therefore highly appropriate to the situations commonly found in the Central American countries. The study involved determination of water relations, changes in dry mass and measurements of current photosynthesis and chlorophyll fluorescence in the cuttings during the propagation period, in order to provide an understanding of the physiological basis of the rooting process in this species.

Materials and methods

The non-mist propagators

Propagators were constructed following the design of Leakey *et al.* (1990). A wooden frame was enclosed in clear polythene so that the base was water-tight. The base was covered with successive layers of large stones (6-10 cm), small stones (3-6 cm) and gravel, and topped with an appropriate rooting medium. The basal 20 cm was then filled with water. The rest of the frame was covered with a single piece of clear polythene, and a closely-fitting lid was attached. The propagators were placed in the Tree Improvement Project nursery, at the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) in Turrialba, Costa Rica (9°54' N Lat., 83°40' W Long, 600 m.a.s.l.), and a cover of black plastic netting (saran) was built two meters above them.

Plant material

Plants were derived from the open pollinated progeny of plus trees selected by the CATIE Tree Improvement Project (TIP) in Costa Rica. Original seedlings were grown 1 meter apart in beds at the CATIE nursery, cut back to maintain a supply of coppice shoots and used as a source of cuttings to build up clonal populations. Rooted cuttings were potted into black polythene bags (600 cm³) containing a 1:1:1 mixture of forest soil, sand and organic compost, then weaned under shade and decreasing watering (from automatic mist irrigation to once daily watering) during a 2-3 week period. After this weaning period, cuttings were planted in beds beside the original stockplant, at a spacing of 20 cm x 20 cm. The clonal plants were given fortnightly soil applications of a powder fertilizer (FERTICA, Puntarenas, Costa Rica) containing 10%N, 30%P and 10%K, at a rate of approximately 30 g per plant. The beds themselves were made up of the potting mixture described above. Mean annual rainfall in Turrialba is 2600 mm, with no month below 50 mm. In consequence, watering was not usually necessary, but the plants were watered to field capacity when there was no rain for two consecutive days (typically in January and February).

In experiment 1, two hundred and fifty 5 cm long cuttings were collected from each of three clones (numbers 2, 4 and 8), after trimming their leaf area to approximately 30 cm². Cuttings were then treated immediately with one of five indole-3-butyric acid (IBA) concentrations (0%, 0.2%, 0.4%, 0.8% and 1.6 %) dissolved in methanol solution. The appropriate concentration of IBA was applied to the clean-cut base of the cuttings in 10 µl droplets using a micrometer syringe. Immediately after applying the solution to the base of the cutting, the alcohol was quickly evaporated off in a stream of cold air from a fan before inserting the cuttings in sand in the propagators. Prior to inserting cuttings, holes were made in the medium to a depth of 2 cm using a board with wooden pecks at regular spacing (5 cm x

5 cm) and the medium pressed firmly around the cutting. Cuttings which received 0% IBA were treated with 10 μ l of methanol. Cuttings were inserted in ten randomized blocks in fine sand in two non-mist propagation units. During the course of the experiment, two fine spray waterings were given daily to the cuttings to keep the leaves moist, at 07:00 and 15:00 h.

In experiment 2, the bed of a non-mist propagator was subdivided into 12 compartments, and each one assigned randomly to one of three rooting media - fine sand, gravel or sawdust. When the stockplants shoots had grown to a height of 30-40 cm, the soft apical tip of each shoot was discarded, and 360 5 cm long cuttings were taken down the stem, 120 from each of three clones (numbers 19, 22 and 35). Leaves were trimmed to 30 cm² using paper templates and the cutting base treated with indole-3-butyric acid in methanol at a concentration of 1.6%, as described above. Cuttings from each clone were assigned randomly to each compartment in the propagator, so that each compartment had 30 cuttings, 10 from each clone. During the course of the experiment, cuttings were sprayed with water from a hand-held sprayer to keep the leaves moist.

Assessments

In experiment 1, ten cuttings from each clone were harvested for assessments of initial stem and leaf fresh and dry mass at day 1, and then destructive samples were taken at weeks two, four and six, harvesting a complete block each time. At each harvest, fresh and dry mass of leaves, stems and new shoots were recorded separately, in addition to leaf turgor weight and relative water content. Each clone/treatment combination was represented by five cuttings at each harvest.

After two weeks the cutting diameters were measured at a mid point, i.e., 2.5 cm from the base, and each cutting assessed for number of roots, presence of shoots and leaf shedding. Similar assessments were carried out for the next seven consecutive weeks.

For the determination of leaf relative water content, the method described by Beadle *et al.* (1985) was used. Measurements of fresh (FM), turgor (TM) and dry (DM) mass were obtained, and then the relative water content calculated as $((FM-DM)/(TM-DM)) \times 100\%$. Turgor mass was obtained by floating the leaves in distilled water for 24 h, and then re-weighing the leaves after drying the surface water with a paper towel. To determine dry mass, the cuttings were oven dried at 80°C for 24 hours prior to weighing.

In experiment 2, a data logger (21X Micrologger, Campbell Scientific Ltd., Loughborough, U.K.) was used to characterize propagator microclimate during propagation. Air temperature was measured using thermocouples (Type K chromel-alumel; T.C., Ltd., Uxbridge, U.K.), humidity using a thermistor probe (MP. 100 Rotronic probe, Campbell Scientific Ltd., Loughborough, U.K.), substrate temperature using a 107-thermistor probe (Campbell Scientific Ltd., Loughborough, U.K.) and irradiance using quantum sensors (Skye Instruments Ltd., Llandrindod Wells, U.K., supplied by Campbell Scientific Ltd., Loughborough, U.K.). All sensors of each type were cross-calibrated prior to use. The logger was programmed to record each sensor every 10 s, and to calculate and store mean readings every 15 min. The 107-thermistor probes were inserted in the rooting medium to a depth of 2-3 cm. For measurements of leaf temperature, the thermocouples were attached to the lower leaf surface.

To determine the relative proportion of solids, air and water in the rooting media, three 100 cm³ samples of each medium were taken. The air volume in each sample was determined by measuring the amount of added water required to saturate the air spaces. The water content was determined by the difference between wet and dry mass. The results were expressed as percentage of each component by volume.

After one week the cutting diameter at a midpoint was measured, and each cutting lifted and assessed for number of roots. Similar assessments were carried out for the next five consecutive weeks.

Measurements of net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (g_s) and chlorophyll fluorescence (F_v/F_m) were taken at week 1, 2 and 3 in a randomly selected sample of six cuttings from each medium. For the assessments of P_n and g_s , an infra-red gas analyser was used (LCA-3, Analytical Development Co. Ltd., Hoddesdon, U.K.). Measurements were made of cuttings *in situ* in the respective media. For measurements of F_v/F_m , a Plant Stress Meter (PSM Mark II, Bio Monitor S.C.I. AB, Sweden) was used, pre-set at a light level of $400 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and a run-time of 10 s; the dark adaptation period of the leaves was 15 min.

Statistical analysis

In experiment 1, analyses of variance were carried out of the number of roots per rooted cutting, relative water content, production of shoots from the cuttings and variation in foliar, stem and total dry mass, followed by multiple range tests (LSD). Percentage rooting and confidence limits (95%) were calculated by clone and IBA treatment. Estimates of leaf and stem dry mass at day 1 were obtained by multiplying the total fresh mass of the cuttings at day 1 by a reduction factor obtained from a sample of 30 cuttings from the three clones, destructively harvested at day 1. Changes in dry mass were estimated by obtaining the percentage variation respect to the estimated initial dry mass, and then expressed as mean changes (g) from the initial value (100% = 0 g). Correlation coefficients were calculated on relationships between the percentage of cuttings rooted and i) percentage of cuttings with actively growing shoots, and ii) relative water content.

In experiment 2, percentages for the analysis of variance were calculated by rooting medium-clone combination, based on 40 cuttings, followed by multiple range tests (LSD). Data of percentage rooting used in the analyses were transformed by the formula $\arcsin \sqrt{\%}$, following Snedecor and Cochran (1980).

Analyses of deviance for stepwise regression and analyses of variance in Genstat 5 (Payne *et al.* 1987) were carried out to determine the influence of medium and morphological characteristics of the cuttings on their rooting ability.

Results

Experiment 1

At the end of nine weeks highly significant differences in rooting percentage were found between IBA concentrations, when rooting reached 70% in cuttings under 1.6% IBA, compared with only 10% for the control cuttings (Fig. 1a). Highly significant differences ($p < 0.01$) were also found between IBA concentrations for number of roots per rooted cutting. This trait showed a similar trend to that of rooting percentage, being greater with successive increases in IBA concentrations (Fig. 1b).

Cuttings of clone 2 rooted displayed significantly higher rooting percentages than clones 4 and 8 after week 5, but these differences became non-significant at week 9 (rooting percentages of 56%, 47% and 44% respectively). In terms of number of roots per rooted cutting, clone 2 produced a significantly larger number of roots (3.2) than clones 4 (2.1) and 8 (2.8).

To investigate the relative influence of treatments, clones and morphological characteristics of the cuttings on their rooting ability, the results at week 9 were analysed by stepwise regression, including data of cutting diameter and leaf shedding. The analysis showed that rooting was highly dependent on the IBA concentration, the presence or absence of shoots and leaves in the cuttings, clone and cutting diameter. Rooting was not affected by the node position within the shoot (Table 1).

During the first 6 weeks, the percentage of cuttings with growing shoots was higher with successive decreases in IBA concentration. After seven weeks there were no further increases in this trait, but shoot production was significantly higher for the concentrations 0% IBA and 0.2% IBA (Fig. 2). No significant differences were found between clones for this trait. When the percentage of cuttings with growing shoots was correlated with final rooting percentage, a strong negative relationship was found between this variable at week 3 and final percentage of cuttings rooted (Fig. 3).

Highly significant differences in relative water content were found between clones but not between treatments. At week 2, the relative water content of all the cuttings was almost 100%, showing that all of them were almost fully turgid. By week 4, relative water content had declined to around 75%, only to increase again by week 6 to values slightly lower than those of week 2. The relative water content of clone 8 (VALUE?) was significantly lower at week 6 than that of clones 2 (VALUE?) and 4 (VALUE?).

No significant differences in dry mass were found between IBA concentrations during six weeks in the non-mist propagators. The foliar dry mass of all treatments decreased by week 2, and for most of the treatments showed an increase by week 6, but only to values similar to those obtained initially. In terms of total dry mass, most IBA treatments showed a steady increase during the six weeks in the propagator. Treatment 0.4% IBA showed a slight decrease during the first four weeks, but increased at week 6 to values similar to the rest of the treatments.

Experiment 2

Maximum irradiance of $335 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ was recorded inside the propagator, with a mean of $22 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; relative humidity varied between 78 and 100%, with a mean of 97%, and air temperature varied between 20.7°C and 37.7°C , with a mean of 24.2°C (Table 7.1). Slight differences were found between substrate temperatures; gravel showed the lowest mean temperature (22.9°C), followed by sawdust (23.2°C) and sand (24.3°C). Leaf temperatures also differed between treatments, ranging from 24.3°C (sawdust) to 25.6°C (sand) and 25.8°C (gravel). The largest differences between treatments were found in leaf-to-air vapour pressure deficits (VPD), with values of -2.06 kPa to 0.61 kPa for sawdust (mean 0.15 kPa), 0.34 kPa to 2.21 kPa for sand (mean 0.57 kPa) and -0.66 kPa to 6.58 kPa for gravel (mean 0.66 kPa) (Table 7.1).

When values of PAR were correlated with VPD, strong positive correlations were recorded in sand ($y = 0.464 + 0.006 x$; $r^2 = 0.75$) and gravel ($y = 0.353 + 0.015 x$; $r^2 = 0.82$), while a negative correlation was recorded in sawdust ($y = 0.280 - 0.006 x$; $r^2 = 0.63$).

The three rooting media showed clear differences in their relative proportions of solids, water and air. The water component was higher in sawdust (53.8 %) than in sand (17.6 %) and gravel (4.5 %). The air content was similar in sawdust (30.3 %) and gravel (30.5 %), and relatively low (5.5 %) in sand. The solid component represented 15.9% in sawdust, 76.9% in sand and 65.1% in gravel.

Photosynthetic rates of between 1.67 and $3.41 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ were recorded in the cuttings during the first three weeks in non-mist propagators. On average, values were higher in sand than in the other media (Fig. 4a). Similar values of mean stomatal conductance were recorded in cuttings in sand and gravel, which were significantly higher than those in sawdust (Fig. 4b).

When values of PAR were correlated with P_n , positive correlations were found in all rooting media ($r^2 = 0.54, 0.53$ and 0.58 for sawdust, sand and gravel respectively).

Rooting percentages were relatively high in this experiment, with values over 75% for all media. However, highly significant differences ($p < 0.01$) were found between rooting media at the end of six weeks. Rooting percentage was similar in both gravel (89.2%) and sand (87.5%), which were significantly higher than in sawdust (75.8%) (Fig. 5a). A similar pattern was found for number of roots per rooted cutting (Fig. 5b).

Clones also showed significant differences in rooting percentage; clones 19 and 22 displayed similar rooting percentages (97.5% and 90.8%), while clone 35 showed the lowest value (64.2%). A similar ranking was found for number of roots per rooted cutting, with means of 5.8, 7.3 and 4.6 for clones 19, 22 and 35 respectively.

When the results were analysed by stepwise regression, rooting was found to be highly dependent on clone and rooting medium, as shown in the analysis of variance, but it was not significantly affected by the cutting diameter.

Cuttings in the three media showed little variation in the chlorophyll fluorescence ratio (Fv/Fm) during the course of the experiment, with mean values of between 0.74 and 0.82. Fv/Fm was always significantly higher in sawdust, with no significant differences between gravel and sand (Fig. 6).

Discussion

In this experiment, rooting percentage was considerably enhanced by increasing concentrations of IBA, as has been found for many other tropical forest species (Leakey *et al.* 1990; Leakey *et al.* 1982). The concentration that was associated with the highest rooting percentage (1.6% IBA) in this study is higher than the optimal concentration (0.2% IBA) reported in previous studies with this species (Leakey *et al.* 1990). In previous experiments, cuttings were dipped in a solution of IBA and methanol, whilst in the present experiment the cuttings were applied with a constant amount of 10 μ l of solution. The response of the cuttings to increasing concentrations of IBA suggests that the optimal concentration of IBA for the rooting of cuttings of *C. alliodora* may be even higher than those tested in this experiment.

In experiment 1, different clones showed a similar trend in rooting with increasing IBA concentrations, but varied in terms of final rooting percentage, with that of clone 2 being significantly higher than other clones from week 5. The reasons for clonal variation are not fully understood, but may be attributable to differences in concentrations of endogenous auxins, rooting co-factors or inhibitors; anatomy, leaf retention and many other interacting factors that may influence rooting (Leakey *et al.* 1982).

It is known that the water status of the cuttings may be a prime determinant of successful rooting (Loach 1988), and even a slight water deficit may result in considerable delay or reduction in the rooting process (Evans 1952; Loach 1977). *C. alliodora* appears to be highly susceptible to water stress, and this was thought to be the major cause of failure in earlier attempts to root juvenile cuttings of this species under mist (Dyson 1981; Mesén, unpublished data). The water relations of the cuttings in experiment 1 were unaffected by variation in concentration of IBA. It is likely that the observed changes in RWC were associated primarily with environmental changes and not with water absorption by the newly formed roots, since the same trend was shown by all the cuttings, despite the fact that cuttings under the 0% IBA treatment lacked roots after four weeks.

The negative relationship found in experiment 1 between the percentage of cuttings with actively growing shoots at week 4 and final rooting may be a reflection of the fact that growing shoots act as a sink for assimilates in competition with the base of the cutting. Hence, under conditions of rapid shoot growth, the supply of current photosynthates may limit rooting (Davis 1988). In cuttings of *Populus tremula*, for example, Eliasson (1971) found that root growth was significantly reduced by shoot growth. This was attributed to competition for assimilates and possibly other factors formed during photosynthesis. Under natural conditions, growing shoots have a somewhat stronger ability than roots to compete for carbohydrates (Eliasson 1968). The fact that increasing concentrations of IBA clearly inhibited bud growth in *C. alliodora* cuttings may be interpreted as enhanced competition for assimilates by the cutting base, as a result of an IBA-induced downward transport of available assimilates, with sink strength successively enhanced by each increase in IBA concentration. Once the roots are formed, the improved water balance and photosynthetic reactions in the plant may restore the

balance of shoot and root growth. This could explain the lack of differences between treatments for this trait at the end of the study. An alternative hypothesis is that applied auxins may inhibit bud growth, as injection of *Nauclea diderichii* with auxin delayed sprouting of cuttings taken from them (Leakey 1990).

Photosynthesis during propagation is generally thought to positively influence root formation on most types of leafy cuttings (Davis 1988), but few studies have actually measured photosynthesis in trees during the rooting period (Newton *et al.* 1992). In some cases, increases in the dry mass of the cuttings have been correlated with the rooting ability of cuttings (Leakey and Coutts 1989), while rooting also seems to be related to net photosynthesis of individual cutting positions on shoots prior to severance (Leakey and Storeton-West 1992). However, in leafless hardwood cuttings and leafy cuttings of other species, root formation has been associated with redistribution of carbohydrates within the cutting (Okoro and Grace 1976). Rooting with some species occurs when current photosynthesis is impaired or minimal, suggesting that in some circumstances, root formation can depend upon carbohydrate reserves rather than current photosynthesis (Davis 1988).

From the findings of experiment 1, it was not possible to establish a clear relationship between variations in dry mass of the cuttings and their rooting ability. For example, clone 2, which displayed the highest rooting percentage, did not show any significant increase in foliar, stem or total dry mass during the course of the experiment. It is known that only moderate photosynthetic active radiation is needed to saturate net photosynthesis of unrooted cuttings (Davis 1988), and even low rates can contribute significantly to the carbon budget of a given plant part (Okoro and Grace 1976). Under the conditions of this experiment, it is likely that photosynthesis did occur in the cuttings in experiment 1, but that assimilate gains only kept pace with respirational losses and dry mass partitioned to roots.

The importance of the rooting medium in propagation has been recognized for many years (Andersen 1986; Hartmann and Kester 1983). In general, an appropriate substrate is described as one with an optimal volume of gas-filled porespace, an oxygen diffusion rate adequate for the needs of respiration, and a reasonable water retention capacity (Andersen 1986). Early experiments with *Hedera helix* showed that available oxygen in the rooting substrate is essential for root development (Hartmann and Kester 1983). It is also clear that the provision of sufficient water to prevent wilting is a prime requirement (Loach 1986). It is only occasionally, however, that correlations between air or water content and rooting have been found, and in most cases, they have not been reproducible in repeated propagations (Loach 1986).

In experiment 2, rooting percentage was lower when sawdust was used, while a significantly higher rooting percentage was found in both sand and gravel. The main difference in composition between sawdust and gravel was the higher proportion of water in sawdust, while air content was almost identical in both media. On the other hand, sand and gravel showed a lower water content (less than 18%) than sawdust (more than 50%). The fact that rooting in sand and gravel was not significantly different indicates that the proportion of water in the media was the main substrate-related factor determining rooting ability of cuttings in this study.

Measurements of the rates of water uptake by cuttings show a simple linear relationship with increasing volumetric water content of the media (Loach 1986). The same relationship has been found in *C. alliodora* (Newton *et al.* 1991). This indicates that water uptake of cuttings is restricted in media with a low water content, and therefore, cuttings would be more subject to drought (Newton *et al.* 1991). However, the high rooting percentages obtained in sand and gravel in this study suggests that excess water in the medium is not always beneficial to rooting. Low rooting percentage has been often associated with a large gain of water by the cuttings themselves, most notably in the basal portion. This was evident in an experiment with *Chamaecyparis lawsoniana* cuttings, in which rooting decreased from 70% to 30% with increases in water content of basal portion of the cuttings from 3 mg g⁻¹ day⁻¹ to 9 mg g⁻¹ day⁻¹ (Loach 1986; 1988). This was explained by the fact that water can present a major diffusion barrier to oxygen (Loach 1986). This may result in anoxia within the tissues, which may

cause damage to waterlogged cutting bases (Loach 1986). Rotting of cutting bases in sawdust was often observed in the present study. The reduced water absorption through the cutting base may also explain the reduced transpiration rate showed by cuttings in sawdust. The importance of water absorption through the cutting base for transpiration has been shown in a range of species by Grange and Loach (1983).

Cuttings in sawdust also produced significantly fewer roots per rooted cutting than cuttings in sand and gravel. This was probably related to the lack of available oxygen at the cutting bases. The effect of oxygen has been well illustrated in hydroponic systems; with *Chrysanthemum* cuttings, for instance, root production increased markedly as the water in which they were rooted was aerated with increasing amounts of oxygen, from 0 to 21 percent (Hartmann and Kester 1983). A similar response was found with *Cupressocyparis leylandii* cuttings in a 1:1 peat/perlite medium, with an increase in number of roots as the volumetric air content of the medium increased from 25% to 40% (Loach 1986).

In experiment 2, cuttings were clearly photosynthesizing during propagation, with rates between 1.67 and 3.41 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. These values are similar to those reported for *Terminalia spinosa* cuttings rooted under the same propagation system (Newton *et al.* 1992). The results obtained in this study indicate that optimizing the processes that occur in the leaf does not necessarily result in high rooting percentages, if other processes that occur in the stem are limiting. In this regard, while rooting percentage and number of roots per cutting were significantly lower in sawdust, the rooting medium utilized did not affect the photosynthetic rate of cuttings nor the relationship between P_n and PAR. Furthermore, the chlorophyll fluorescence ratio was significantly higher in cuttings in sawdust, indicating the relatively high photosynthetic efficiency of these cuttings (Bolhar-Nordenkamp *et al.* 1989). This difference in chlorophyll fluorescence was probably related to the larger maximum leaf temperatures recorded in sand and gravel (43.1 °C and 43.3 °C respectively), as compared with sawdust (31.4 °C), as it is known that leaves of most tropical species are damaged at about 42 °C (e.g. see Turner and Newton 1990). This also explains the negative relationship between leaf temperature and VPD in sawdust. The lower leaf temperature recorded in sawdust probably resulted from the cooling effect of water condensing on the leaf, as more water was available in this medium.

These results suggest that the lower rooting ability of cuttings in sawdust was more related to the excessive water content of the rooting medium, as discussed above, and not to the physiological condition of the aerial part of the cuttings, which was similar in all three media or in fact superior in sawdust.

It is therefore clear that, contrary to previous reports (Dyson 1981), *C. alliodora* can be easily rooted with the non-mist propagators described here. Indole-3-butyric acid (IBA) should be applied to the cutting base to increase the rooting percentage and the number of roots produced by the cuttings. The highest concentration tested (1.6% IBA) produced the best results, both in terms of rooting percentage and number of roots per rooted cutting. Cuttings of *C. alliodora* rooted equally well in sand and gravel, while both the rooting percentage and the number of roots per cutting were reduced when sawdust was used. Sand should be preferred for practical reasons, since the practices of marking the rooting medium, inserting the cuttings and removing the cuttings for evaluation are simplified in this medium as compared to gravel.

Acknowledgements. The authors thank the United Kingdom Overseas Development Administration and British Council for financial support, the Tropical Agricultural Research and Higher Education Centre (CATIE) for logistic support and the staff of the CATIE Tree Improvement Project for their help during the field work.

References

- Andersen AS (1986) Stock plant conditions. In: Jackson, M.B. (ed) *New Root Formation in Plants and Cuttings*. Martinus Nijhoff Pub., Dordrecht/Boston/ Lancaster. pp 223-255.
- Beadle CL, Ludlow MM, Honeysett JL (1985) Water relations. In: Coombs J, Hall DO, Long SP, Scurlock MO (eds) *Techniques in bioproductivity and photosynthesis*. 2nd edition, Pergamon Press, Oxford. pp 50-61.
- Bolhar-Nordenkamp HR, Long SP, Baker NR, Öquist G, Schreiber U, Lechner EG (1989) Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthesis competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Functional Ecol* 3:497-514.
- Boshier DH, Mesén JF (1987) Proyecto Mejoramiento de Arboles del CATIE: estado de avance y principales resultados. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 16 p. (Mimeog).
- Boshier DH, Mesén JF (1988) Availability of seed of *Cordia alliodora* for progeny testing. *FAO For Genetic Resource Inf No.* 15:30-35.
- Davis T (1988) Photosynthesis during adventitious rooting. In: Davis TD, Haissig BE, Sankhla N (eds). *Adventitious Root Formation in Cuttings*. B.E. Dioscorides Press, Portland, Oregon. pp 79-87.
- Dyson WG (1981) Report (1980) to ODA of the UK Government, London. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 16 p.
- Eliasson L (1968) Dependence of root growth on photosynthesis in *Populus tremula*. *Physiol Plant* 21:806-810.
- Eliasson L (1971) Adverse effect of shoot growth in rooted cuttings of Aspen. *Physiol Plant* 25:268-272.
- Grange RI, Loach K (1983) The water economy of unrooted cuttings. *J Hort Sci* 58(1):9-17.
- Greaves A, McCarter PS (1990) *Cordia alliodora* - A promising tree for tropical agroforestry. Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford. *Tropical Forestry Papers No. 22.* 37 p.
- Hartmann HT, Kester DE (1983) *Plant propagation - principles and practices*. 2nd. ed. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall. 702 p.
- Hudson JM (1984) A note on *Cordia alliodora* in Vanuatu. *Comm For Rev* 63(3):181-183.
- Leakey RRB, Chapman VR, Longman KA (1982) Physiological studies for tropical tree improvement and conservation - some factors affecting root initiation in cuttings of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. *For Ecol Manage* 4:53-66.
- Leakey RRB, Coutts MP (1989) The dynamics of rooting in *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. cuttings: their relation to leaf areas, node position, dry weight accumulation, leaf water potential and carbohydrate composition. *Tree Physiol* 5:135-146.
- Leakey RRB, Mesén JF, Tchoundjeu Z, Longman KA, Dick JMcP, Newton A, Matin A, Grace J, Munro RC, Muthoka PN (1990) Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Comm For Rev* 69(3):247-257.
- Leakey RRB, Storeton-West R (1992) The rooting ability of *Triplochiton scleroxylon* cuttings: the interactions between stockplant irradiance, light quality and nutrients. *For Ecol Manage* 49:133-150.
- Loach K (1977) Leaf water potential and the rooting of cuttings under mist and polythene. *Physiol Plant* 40:191-197

- Loach K (1986) Rooting of cuttings in relation to the propagation medium. *Proceedings International Plant Propagators' Society*, 35:472-485.
- Loach K (1988) Water relations and adventitious rooting. In: Davis TD, Haissig BE, Sankhla N (eds). *Adventitious Root Formation in Cuttings*. B.E. Dioscorides Press, Portland, Oregon. pp 102-116.
- Mesén JF, Boshier DH, Cornelius JP (1993) Genetic improvement of trees in Central America with particular reference to Costa Rica. In: Leakey RRB, Newton AC (eds) *Tropical Trees: Potential for Domestication, Rebuilding Forest Resources*. IUFRO/Edinburgh Centre for Tropical Forests, Edinburgh, Scotland, 24-28 August 1992.
- Neil PE, Jacovelli PA (1985) Agroforestry as an aid to rational rural development in Vanuatu. *Comm For Rev* 64(3):259-266.
- Newton AC, Mesén JF, Leakey RRB (1991) ITE/CATIE Link. Interim Report ODA/NERC contract No. FND/8991/546/093/001A (May 1991). Institute of Terrestrial Ecology. 84 p.
- Newton AC, Muthoka P, Dick JMcP (1992) The influence of leaf area on the rooting physiology of leafy stem cuttings of *Terminalia spinosa* Engl. *Trees* 6:210-215.
- Okoro OO, Grace J (1976) The physiology of rooting *Populus* cuttings I. Carbohydrates and photosynthesis. *Physiol Plant* 36:133-138.
- Turner IM, Newton AC (1990) The initial responses of some tropical rain forest tree seedlings to a large gap environment. *J Applied Ecol* 27:605-608.

Table 1 Analysis of deviance by stepwise regression to determine the relative influence of IBA concentration, clone, the presence of leaf in the cutting (leaf), the presence of shoot in the cuttings at week 4 (shoot), the cuttings diameter and the node position in the rooting ability of single-node, leafy stem cuttings of *Cordia alliodora* after nine weeks in non-mist propagators.

Source	Degrees of freedom	Deviance	Mean deviance	Deviance ratio	P
Block	7	26.915	3.845	3.69	< 0.01
IBA	4	120.919	30.230	29.05	< 0.01
Leaf	1	30.570	30.570	29.37	< 0.01
Diameter	1	12.238	12.238	11.76	< 0.01
Shoot	1	14.608	14.608	14.04	< 0.01
Clone	2	11.040	5.520	5.30	< 0.01
Node position	4	4.047	1.012	0.97	ns
Residual	554	576.573	1.041		
Total	574	796.909			

Table 2 The propagator microclimate after insertion of *Cordia alliodora* cuttings in three different rotting media in non-mist propagators.

	Sawdust		Sand		Gravel	
	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range
Relative humidity (%)	97	78-100	97	78-100	97	78-100
Air temperature (°C)	24.2	20.7-37.7	24.2	20.7-37.7	24.2	20.7-37.7
Substrate temp. (°C)	23.2	18.3-32.1	24.3	21.7-31.7	22.9	21.2-26.5
PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	22	0-335	22	0-335	22	0-335
Leaf temperature (°C)	24.3	22.0-31.4	25.6	22.2-43.1	25.8	22.2-43.3
VPD (kPa)	0.15	-2.06-0.61	0.57	0.34-2.21	0.66	-0.66-6.58

Vegetative propagation of *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken: III. The effects of propagation environments and foliar areas on rooting physiology

F. Mesén¹, A.C. Newton²⁺, R.R.B. Leakey^{2*}, J. Grace³

¹Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba 7170, Costa Rica

²Institute of Terrestrial Ecology (ITE), Bush Estate, Penicuik, Midlothian, EH26 0QB, Scotland, U.K.

³Institute of Ecology and Resource Management, The University of Edinburgh, Kings Building, Mayfield Road, Edinburgh EH9 3JU, Scotland, U.K.

+ Current address: Institute of Ecology and Resource Management, The University of Edinburgh, Kings Building, Mayfield Road, Edinburgh EH9 3JU, Scotland, U.K.

* Current address: International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), P.O. Box 30677, Nairobi, Kenya.

Summary. The effects of the interaction between the light environment during propagation and the foliar area of *Cordia alliodora* cuttings was investigated at CATIE, Costa Rica, using non-mist propagators with and without shade. During the rooting period, photosynthetic rates, stomatal conductance and chlorophyll fluorescence of the cuttings were assessed at regular intervals. Under low irradiances, cuttings with small leaf areas displayed low rooting percentages. This result suggested that the rates of current photosynthesis and reserves in the cuttings were insufficient to support the cutting long enough to initiate root formation. Under high irradiances, on the other hand, cuttings with small leaf areas displayed the highest rooting percentage, probably as a result of an appropriate balance between current photosynthesis and transpiration. In general, net photosynthetic rate of the cuttings increased with irradiance to a maximum of approximately 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, to decline with higher irradiances. This reduced photosynthetic rate and increased water deficits (high VPDs) at high irradiances, recorded in unshaded propagators, were associated with a decline in rooting percentages. However, a large proportion (60%) of these cuttings eventually rooted, indicating that relatively high water deficits can be tolerated by the cuttings of this species during propagation. The number of roots produced by the cuttings were opposite to those of rooting percentage, supporting the view that root initiation and root development are different stages of the rooting process, probably affected by a different set of conditions.

Introduction

Cordia alliodora (Ruiz & Pavon) Oken is an important timber species native to continental tropical America from central Mexico to northern Argentina (Greaves and McCarter 1990). It is widely used both in pure plantations and agroforestry systems in many tropical countries. However, both in natural and in planted stands, the trees show a high variation both in growth and form, indicating the potential for improvement through genetic improvement techniques (Boshier and Mesén 1988). A genetic improvement programme with this species is currently in progress at CATIE, Turrialba (Mesén *et al.* 1993). As part of this research programme, vegetative propagation techniques are being developed to facilitate multiplication and use of selected genotypes.

The successful rooting of leafy stem cuttings depends on many environmental and physiological factors, both pre- and post-severance, acting in a complex and interrelated manner (Dick and Dewar 1992; Leakey *et al.* 1992; 1993).

Once the cutting is taken and set to root, its ability to photosynthesize and to remain turgid has been identified as an important factor determining rooting success. The practice of trimming the leaf aims at minimizing water loss, while allowing some photosynthesis during the propagation period (Okoro and Grace 1976; Eliasson and Brunet 1980; Leakey *et al.* 1982a; Leakey and Coutts 1989; Newton *et al.* 1992a; Leakey *et al.* 1993). These processes are also influenced by the amount of light received by the cuttings, both through its direct

effects on photosynthesis and its indirect effects on air and leaf temperature, VPD and hence, stomatal conductance (Loach 1988a).

This study investigated the effects of the interactions between light environment during propagation and foliar area on the rooting physiology of leafy stem cuttings. Experiment 1 investigated in detail the photosynthetic activity and stomatal conductance of cuttings during the first days after severance, using a small sample of cuttings. Experiments 2 and 3 involved a larger number of cuttings over a longer period to evaluate the effects of shading and leaf area on the rooting ability of the cuttings.

Materials and methods

The experiments were carried out at the nursery of the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) in Turrialba, Costa Rica (9°54' N Lat., 83°40' W Long, 600 m.a.s.l.). Propagators were constructed following the design of Leakey *et al.* (1990). Plants were derived from the open pollinated progeny of plus trees selected by the CATIE Tree Improvement Project in Costa Rica. Original seedlings were grown 1 meter apart in beds at the CATIE nursery, cut back to maintain a supply of coppice shoots and used as a source of cuttings to build up clonal populations. Rooted cuttings were potted into black polythene bags (600 cm³) containing a 1:1:1 mixture of forest soil, sand and organic compost, then weaned under shade and decreasing watering (from automatic mist irrigation to once daily watering) during a 2-3 week period. After this weaning period, cuttings were planted in beds beside the original stockplant, at a spacing of 20 cm x 20 cm. The clonal plants were given fortnightly soil applications of a powder fertilizer (FERTICA, Puntarenas, Costa Rica) containing 10%N, 30%P and 10%K, at a rate of approximately 30 g per plant. The beds themselves were made up of the potting mixture described above. Mean annual rainfall in Turrialba is 2600 mm, with no month below 50 mm. In consequence, watering was not usually necessary, but the plants were watered to field capacity when there was no rain for two consecutive days (typically in January and February).

In experiment 1, twenty single-node cuttings were collected from clone 53, five from each shoot. The soft apical nodes were discarded and the leaves at all other nodes trimmed to 30 cm², using paper templates. The cutting base was treated with 10 µl indole-3-butyric acid in methanol solution at a concentration of 1.6% before setting the cuttings in sand in non-mist propagators. IBA was applied to the clean-cut base of the cuttings in 10 µl droplets using a micrometer syringe. Immediately after applying the solution to the base of the cutting, the alcohol was quickly evaporated off in a stream of cold air from a fan before inserting the cuttings in the propagators. Prior to inserting cuttings, holes were made in the medium to a depth of 2 cm using a board with wooden pecks at regular spacing (5 cm x 5 cm) and the medium pressed firmly around the cutting. The cuttings were assigned randomly to one of two propagators with or without shade. The shade treatment was produced by covering one of the propagators with a single layer of black plastic netting. This was in addition to the layer of netting standardly located two meters above the propagators. The unshaded propagator was placed under full sunlight, without either of the two layers of netting.

In experiment 2, 864 cuttings were collected from clones 22, 37 and 38, 288 from each clone. The soft apical nodes were discarded and the leaves at all other nodes trimmed to 10, 20 or 30 cm² using paper templates. The cuttings base was then treated immediately with indole-3-butyric acid (IBA) at a concentration of 1.6 %, as described above. The cuttings were then set to root in sand in non-mist propagators, and were allocated to one of two propagators in node order with or without shade in eight randomized blocks. The shaded and unshaded treatments were as in experiment 1 above. During the course of the experiment, cuttings were finely sprayed twice a day to keep the leaves moist, at 07:00 h and 15:00 h.

In experiment 3, 648 cuttings were collected from clones 2, 6 and 37, 216 from each clone, discarding the soft apical node of each shoot. The cuttings were given the same treatments as above and similarly, were set to root in sand in two non-mist propagators, with

or without shade, in six randomized blocks. The shaded and unshaded treatments were as described in experiment 1 above.

Assessments

Experiment 1

Measurements of net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (g_s) and chlorophyll fluorescence were taken daily *in situ* in all ten cuttings from each propagator, between 09:00 h and 12:00 h. For assessments of P_n and g_s an infrared gas analyser was used (LCA-3, Analytical Development Co. Ltd., Hoddesdon, U.K.). Measurements of chlorophyll fluorescence were taken using a fluorescence meter (PSM Mark II, Bio Monitor S.C.I. AB, Sweden), set at a light level of $400 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, a run-time of 25 seconds and a dark-adaptation period of 20 minutes.

Measurements of leaf, air and substrate temperatures, relative humidity and irradiance inside the propagators were recorded for the duration of the experiment using a 21X Micrologger (Campbell Scientific Ltd., Loughborough, England). Air temperature was measured using thermocouples (Type K chromel-alumel; T.C., Ltd., Uxbridge, U.K.), humidity using a thermistor probe (MP. 100 Rotronic probe, Campbell Scientific Ltd., Loughborough, U.K.), substrate temperature using a 107-thermistor probe (Campbell Scientific Ltd., Loughborough, U.K.) and irradiance using quantum sensors (Skye Instruments Ltd., Llandrindod Wells, U.K., supplied by Campbell Scientific Ltd., Loughborough, U.K.). The logger was programmed to record each sensor every 10 s, and to calculate and store mean readings every 15 min.

Experiments 2 and 3

After two weeks the cutting length and midpoint diameter were measured, and each cutting lifted and assessed for number of roots formed. Similar assessments were carried out for the next seven consecutive weeks.

The environmental conditions inside the propagators were monitored throughout the duration of the experiment using a 21X Micrologger (Campbell Scientific Ltd., Loughborough, England) and associated sensors, as described above.

In experiment 3, measurements of chlorophyll fluorescence were taken at weeks 1, 2 and 3 on 36 randomly-selected cuttings, six from each irradiance-foliar area combination, using a fluorescence meter (PSM, Biomonitor S.C.I. AB, Sweden). Measurements of net photosynthetic rate (P_n) and stomatal conductance (g_s) were taken at weeks 2, 3, 4 and 5 on the same cuttings, using an infra-red gas analyser attached to a Parkinson leaf chamber (Analytical Development Co. Ltd., Hoddesdon, U.K.). These measurements were taken between 09:00 h and 12:00 h.

Statistical analysis

In the analyses of variance, percentage rooting was calculated by environment-clone-area combination, based on 48 cuttings in experiment 1 and 36 cuttings in experiment 2, followed by multiple range tests (LSD). Similar analyses were carried out on data of chlorophyll fluorescence. Data of percentage rooting used in the analysis were transformed by the formula $\arcsin \sqrt{\%}$.

Analyses of deviance for stepwise regression in Genstat 5 (Payne *et al.* 1987) were utilized to determine the influence of treatment, node position and morphological

characteristics of the cuttings on their rooting ability and the influence of treatment and node position on the photosynthetic rate and stomatal conductance of the cuttings.

Results

Experiment 1

The propagation microclimate

Large differences in the propagation microclimate were recorded between the two propagators during the period of the experiment, with higher relative humidity in the shaded propagator and lower air, leaf and substrate temperatures, PAR and VPD (Fig. 1; Table 1).

When values of PAR were correlated with VPD, strong positive correlations were found in both propagators ($r^2 = 0.64$ and 0.88 for shaded and unshaded propagators respectively).

Net photosynthetic rate (P_n) and stomatal conductance (g_s)

Photosynthetic rates of 2.21 - $4.96 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and 0.47 - $2.54 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ were recorded in the cuttings in the shaded and unshaded propagators respectively. Values were generally higher in the shaded propagator, except at day 5 when P_n was similar in both propagators (Fig. 2a). Stomatal conductance varied little from day to day in the unshaded propagator, with values of between $87 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and $139 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Higher values of g_s were recorded in the shaded propagator (275 - $636 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), following a similar pattern to that of P_n (Fig. 2b).

When values of PAR were correlated with P_n , clear differences were found between both propagators. A strong positive correlation was found in the shaded propagator ($y = 0.381 + 0.013 x$, $r^2 = 0.68$), while a negative correlation was found in the unshaded propagator ($y = 3.000 - 0.0002 x$, $r^2 = 0.54$).

Chlorophyll fluorescence

The chlorophyll fluorescence ratio (Fv/Fm) of the cuttings was generally higher in the shaded propagator, and varied little from day to day (0.78 - 0.81). In the unshaded propagator, Fv/Fm decreased to the lowest values recorded (0.72) two days after insertion of the cuttings in the propagator, but the values increased by day 5 and remained high until the end of the experiment, when there were no significant differences in Fv/Fm between both propagators (Fig. 2c).

Experiment 2

The propagation microclimate

The use of shade in one of the propagators produced clear differences between the two propagation environments (PE), with large reductions in irradiance, VPD and air, foliar and substrate temperatures, and an increase in relative humidity in the shaded propagator compared to the unshaded propagator (Table 2). A strong positive correlation was found between PAR and VPD in the unshaded propagator (Fig. 3).

Rooting ability

Rooting percentage was significantly ($p < 0.001$) affected by the interaction between PE and leaf area, but not for these variables independently. In the shaded propagator rooting after seven weeks was significantly lower for the 10 cm² treatment (58.3%), while cuttings with leaf areas of 20 cm² and 30 cm² rooted equally well (77.8% and 79.2%, respectively). In the unshaded propagator, on the other hand, the highest rooting percentage (78.5%) was obtained with the 10 cm² treatment, significantly different from the 20 cm² treatment (68.1%) (Fig. 4a). There were less variation between treatments for mean number of roots per rooted cutting, which varied from 3.3 to 4.1 (Fig. 4b).

Clones also displayed highly significant ($p < 0.001$) differences both in rooting percentage and in number of roots per rooted cutting at week 7. Clone 22 displayed the highest mean rooting percentage (91.7%), followed by clone 38 (77.8%) and clone 37 (46.9%). The latter also showed a significantly lower number of roots per rooted cutting (1.8), compared to 4.2 for clone 22 and 4.5 for clone 38.

There were highly significant ($p < 0.001$) differences both in rooting percentage and in number of roots per rooted cutting between node positions. Rooting percentage did not show any particular trend with respect to node position, varying from 63% for node 1 (apical) to 77% for node 3. The number of roots per rooted cutting showed a progressive increase with successive node positions down the stem, from 3.2 for node 1 (apical) to 4.7 for node 6 (basal).

To assess the relative importance of these factors and the morphological characteristics of the cuttings on their rooting ability, the results were analysed by stepwise regression. Rooting was found to be significantly affected by clone, block, node position and cutting diameter, but was not significantly affected by PE and the cutting length. Cuttings showed a progressive increase in diameter from the apical to the basal nodes, from 4.2 mm to 5.0 mm, while cutting length decreased from node 1 to node 2, to increase progressively again up to node 6. When these values of cutting diameter and cutting length were correlated with rooting and mean number of roots per rooted cutting, a strong positive correlation was found between cutting diameter and mean number of roots per rooted cutting (Fig. 5).

Experiment 3

The propagation microclimate

As in the first and second experiments, large differences were recorded between propagators for irradiance, leaf, air and foliar temperatures, relative humidity and VPD (Table 3). However, higher values of irradiance, temperatures and VPD, and lower values of relative humidity were recorded in both propagators with respect to the second experiment. When values of PAR were correlated with VPD, strong positive correlations were found in both propagators ($y = 0.356 + 0.003 x$, $r^2 = 0.84$ and $y = 0.396 + 0.005 x$, $r^2 = 0.93$ for the shaded and unshaded propagator respectively).

Rooting ability

Rooting percentage after seven weeks was significantly higher ($p < 0.001$) in the shaded propagator, with no differences between the leaf area treatments. In the unshaded propagator, rooting percentage decreased with an increase in leaf area (Fig. 6a). In both propagation environments, the number of roots per rooted cutting increased with an increase in leaf area (Fig. 6b). Significantly fewer roots per rooted cutting were produced in the shaded propagator averaging over all leaf area treatments ($p < 0.001$).

Clones also showed highly significant ($p < 0.001$) differences both in rooting percentage and mean number of roots per rooted cutting, with a similar ranking (clone 6 > clone 2 > clone 37) for both variables. At the end of seven weeks rooting percentage was 83.8%, 71.3% and 55.6%, and number of roots per rooted cutting 5.5, 5.2 and 3.0 for clones 6, 2 and 37 respectively.

The most apical node showed the lowest rooting percentage (57.4%), with no significant differences between the other node positions, with values between 70% for node 2 to 76% for node 6. In terms of number of roots per rooted cutting, there was an increase from the apical to the basal node (from 3.9 for node 1 to 5.5 for node 6).

When the results were analysed by stepwise regression, rooting percentage was found to be highly dependent on PE, clone, the leaf area and the node position within the stem, but was not affected by the mean cutting diameter. The number of roots per rooted cutting, on the other hand, was strongly affected by cutting diameter. Cutting diameter showed a progressive increase from the apical to the basal nodes (from 3.8 mm for node 1 to 5.7 mm for node 6), and when these values were correlated with mean number of roots per rooted cutting, a strong positive correlation was found (Fig. 7).

Net photosynthetic rate

Mean photosynthetic rate (P_n) per unit leaf area was significantly higher ($p < 0.001$) in the unshaded propagator. Within each environment, P_n per unit leaf area decreased with an increase in leaf area, from $1.77 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ to $1.56 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and $1.27 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in the shaded propagator and from $3.56 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ to $2.94 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and $2.01 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in the unshaded propagator (Fig. 8a). When the results were expressed as $\mu\text{mol CO}_2 \text{ leaf}^{-1}$, mean photosynthetic rate in both environments increased with successive increases in leaf area, although the difference between the 20 cm² and 30 cm² treatments was non significant (Fig. 8b). When values of PAR were correlated with P_n , a strong positive relationship was found between these variables in the shaded propagator ($y = 0.3078 + 0.0107 x$, $r^2 = 0.51$), while a negative relationship was found in the unshaded propagator ($y = 3.8930 + 0.0024 x$, $r^2 = 0.49$).

No significant differences in g_s were found between treatments, with values between $130 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and $194 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ for all treatments.

To determine the relative influence of treatments on the recorded net photosynthetic rates, the results were analysed by stepwise regression and P_n was found to be highly dependent on both PE and leaf area.

Chlorophyll fluorescence

There was a highly significant ($p < 0.001$) difference in chlorophyll fluorescence ratios (Fv/Fm) between PE, and a highly significant ($p < 0.001$) interaction for PE x leaf area. In the shaded propagator, Fv/Fm remained roughly constant from week 1 to week 3, with no significant differences between the three leaf area treatments. In the unshaded propagator, the 10 cm² treatment showed significantly higher values than the 20 cm² and 30 cm² treatments, but all the three leaf area treatments showed lower values than those of the shaded propagator. After three weeks there was a marked decrease in Fv/Fm in the unshaded propagator for all three leaf area treatments (Fig. 9). Mean values over the three weeks for the three leaf areas (10 cm², 20 cm² and 30 cm²) were 0.79, 0.79 and 0.76 for the shaded propagator and 0.51, 0.36 and 0.33 for the unshaded propagator. When the results of Fv/Fm were correlated with final rooting percentage (week 6), strong positive correlations were found between rooting percentage and mean Fv/Fm at weeks 1, 2, 3 (Fig. 10abc).

Discussion

In experiment 1, strong positive correlations were found between cutting diameter and the number of roots produced by the cuttings, but no correlations were found between diameter and rooting percentage. A number of studies have investigated the effects of morphological characteristics of the cuttings, in particular cutting length, on their rooting ability. In *T. scleroxylon*, cutting length was usually more strongly correlated with the rooting percentage of cuttings than with the number of roots per rooted cutting (Leakey and Mohammed 1985). In most studies, however, cutting length has been more commonly correlated with the number of roots produced by the cuttings than with the rooting percentage (Fernquist 1966; Veierskov 1978; Poulsen and Andersen 1980). A relationship between cutting length or cutting diameter with the number of roots produced by the cutting is in agreement with current thinking on the process of adventitious root formation in cuttings. Adventitious root production can be divided into at least two stages: root initiation and root growth (Lovell and White 1986). It is not known whether the requirements associated with the creation of root primordia are the same as those associated with root development and growth (Lovell and White 1986). It appears, for instance, that root primordium initiation is hormonally controlled (Moe and Andersen 1988), and not markedly influenced by excesses or deficiencies of particular mineral nutrients (Haissig 1989). This suggests that within limits, the nutritional status of a stockplant or cutting taken from that plant has a greater impact on root growth and development than on root initiation (Blazich 1988). On the other hand, the ability of cuttings to supply carbohydrates, either from stored reserves or through current photosynthesis, to the area where roots appear seems to be very important for root development (Moe and Andersen 1988).

This apparent independence of the process of root initiation on cutting reserves or current assimilates was reflected in the present study by the lack of relationships between cutting diameter and rooting percentage. Once the initial stimulus to initiate root formation occurs, larger cuttings, with a greater carbohydrate storage capacity, are able to support a greater number of roots, a fact which probably explains the strong relationships between cutting diameter and number of roots per rooted cutting found in this study. The effect of cutting length on rooting ability was less obvious. In *C. alliodora*, cutting length shows an irregular pattern along the stem, with greater length in the apical and basal nodes (as in Experiment 2) or similar length at every position within the stem (as in Experiment 3). Overall, the effect of cutting length on rooting ability was probably overridden by diameter, which shows a systematic increase down the stem. Thus, as with other species mentioned above, cutting volume is likely to be the critical factor.

Experiment 2 was characterized by a relatively low irradiance in both propagators, particularly in the shaded propagator, where maximum irradiance reached only $88 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. In this propagator, cuttings with the smallest leaf area (10 cm^2) showed the lower rooting percentage, probably because the rates of current photosynthesis and reserves in the leaf were insufficient to support the cutting long enough to initiate the formation of roots. In the unshaded propagator, on the other hand, the small leaved cuttings showed the highest rooting percentage. The smaller leaf area probably prevented severe water deficits to occur in such cuttings, as may have happened in the cuttings with greater leaf areas (20 cm^2 and 30 cm^2).

In experiment 3, rooting percentage decreased with an increase in irradiance, probably as a result of the conditions of relatively high irradiance, high temperature and low relative humidity recorded in the unshaded propagator. This is supported by the lower values of F_v/F_m measured in this propagator, and the negative relationships between F_v/F_m and final rooting percentage. A decrease in F_v/F_m is a good indicator of damage to the photosynthetic apparatus and to the physiology of the plant in general, resulting from adverse environmental factors (Bolhar-Nordenkamp *et al.* 1989). Although on average higher photosynthetic rates were recorded in the unshaded propagator, the lower values of F_v/F_m and lower rooting percentage obtained in these cuttings illustrates the importance of achieving a balance between photosynthesis and water loss, and the complex nature of the rooting process. Higher

photosynthetic rates did not result in higher rooting percentages when the environmental conditions of the propagation system were not favourable to the general physiological conditions of the cuttings. Irradiance higher than approximately $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, normally recorded in the unshaded propagator, were associated with a decline in net photosynthetic rates in the cuttings.

The effects of leaf area on rooting percentage in the shaded propagator found in experiment 3 differed from that found in experiment 2; few differences were found between leaf area treatments, while a similar response was found in the unshaded propagator. The irradiance recorded in the shaded propagator in this experiment ($339 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) was high enough to allow some photosynthetic activity in the cuttings, but not so excessive as to damage the photosynthetic apparatus and the physiology of the cutting, as indicated by the high values of F_v/F_m shown by these cuttings. The maximum irradiance recorded in the unshaded propagator in this experiment is within the range of optimum irradiance (approximately $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ to $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) for photosynthesis, as shown by the regressions between PAR and P_n in experiments 1 and 3 and in previous work with *C. alliodora* (Mesén *et al.* 1992). The decrease in rooting percentage associated with increases in leaf area found in the unshaded propagator may be a result of increased water deficit and reduced photosynthetic efficiency, as shown by the reductions in F_v/F_m and in net photosynthetic rates shown by these treatments.

It was interesting to find that the results of number of roots per rooted cutting were opposite to those of rooting percentage. As mentioned above, root initiation and root growth are different stages of the rooting process (Lovell and White 1986), and are probably affected by different stimuli. Root initiation was strongly influenced by the physiological condition of the cutting; a decline in F_v/F_m was associated with a decline in rooting percentage. However, a high proportion of the cuttings were able to tolerate these conditions and start the process of root formation. The ability of cuttings from various tropical species to recover from severe water deficits and root successfully has been recently shown by Newton and Jones (1993b). It appears that, if the cutting survives and the initial stimulus for root initiation occurs, other factors associated with the amount of reserves in the cutting and the total rate of net photosynthesis become more important and play a greater role in the number of roots that can be supported by the cutting. When photosynthesis was expressed as net assimilation rate per leaf, a similar pattern to that of number of roots per rooted cutting was evident. In this respect, these results support early suggestions that for some species, it may be beneficial to increase the irradiance progressively during the rooting period to improve the rooting systems produced by the cuttings (Leakey personal communication).

High vapour pressure deficits (VPD) are the primary factor influencing the water status of the cuttings (Loach 1988a). The measurements of VPD in shaded and unshaded propagators highlighted the importance of shading to minimize VPDs within the propagator, as has been suggested by Loach (1977) and Grange and Loach (1983a,b). While maximum VPDs of 5.92 kPa, 0.95 kPa and 1.47 kPa were recorded in shaded propagators in experiments 1-3 respectively, this increased respectively to 9.85 kPa, 4.91 kPa and 8.36 kPa in the unshaded propagators. High values of VPD were clearly associated with increases in irradiance, as has been shown previously (Grange and Loach 1983a). For a number of broadleaved species, Grange and Loach (1983b) suggested that values of VPD below 0.5 kPa should be maintained during the propagation period. However, for most species, the degree of water deficit that a cutting can withstand and still root has not yet been defined (Newton and Jones 1993b). In this experiment, higher VPDs were obtained in unshaded propagators; however, a relatively high proportion of these cuttings rooted ($> 60\%$). From these results it appears that relatively high VPDs and marked water deficits can be tolerated by the cuttings and eventually root. This is in agreement with recent work of Newton and Jones (1993a,b), who found similar responses in a number of tropical species, including *C. alliodora*.

In this regard, it is interesting to speculate about possible adaptations of the cuttings to their rooting environment. Although this aspect was not investigated in detail, the intensive measurements of gas exchange and chlorophyll fluorescence taken in cuttings with and without

shade during the first week after establishment in Experiment 1 showed interesting features. The low initial values of P_n and g_s may represent a shock response to propagation (Gay and Loach 1977), although the cuttings were able to recover within few days, particularly in the shaded propagator. A similar response in water potential has been found by Newton and Jones (1993b) in a number of tropical species. The authors suggested that the water status of the cuttings was more influenced by the prevailing microclimate than by any progressive physiological changes in the cuttings themselves. Overall, cuttings in the unshaded propagator showed a lower rate of net photosynthesis than those in the shaded propagator, but with a trend to increase over time. Photosynthetic rate of cuttings in the shaded propagator declined dramatically at day 5, associated with a peak in irradiance and related peaks in temperature and VPD. This peak in irradiance had an opposite effect on the cuttings in the unshaded propagator, which suggests a possible adaptation of the cuttings to the high irradiances experienced during the previous days. A similar response was obtained for stomatal conductance. Similarly, while F_v/F_m was lower for the cuttings in the unshaded propagator during the first days, it increased at day 5 and at day 8 the difference in F_v/F_m between the cuttings in both propagators became non significant. Little is known about acclimation of cuttings to their light regime during propagation, although in intact seedlings of some species, acclimation has been found to occur over very short periods (Kamaluddin and Grace 1992a,b). It is possible that cuttings respond in a similar way, which explains the relatively high proportion of cuttings which formed roots under the high irradiances and high temperatures measured in the unshaded propagators.

Propagation without shade resulted in extremely high temperatures, which damaged the leaves and reduced rooting, particularly when cuttings with high foliar areas (20-30 cm²) were used. Excess shade (two layers of black plastic netting), on the other hand, resulted in low photosynthetic activity of the cuttings and reduced rooting, particularly in cuttings with small foliar areas (10 cm²). Foliar areas of 30 cm² and irradiances of between 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ were found appropriate, to maximize photosynthetic rates and rooting ability of cuttings. Although cuttings with smaller leaf areas showed similar rooting percentages than larger leaved cuttings at the same irradiances, which represents an advantage in terms of space in the propagator, the number of roots per cutting increased with increases in leaf area. Increasing the irradiance progressively during the propagation period may be a way to increase the number of roots produced by the cuttings, but this aspect needs further investigation.

Acknowledgements. The authors thank the United Kingdom Overseas Development Administration and British Council for financial support, the Tropical Agricultural Research and Higher Education Centre (CATIE) for logistic support and the staff of the CATIE Tree Improvement Project for their help during the field work.

References

- Blazich FA (1988) Chemicals and formulations used to promote adventitious rooting. In: Davis TD, Haissig BE, Sankhla N (eds) *Adventitious Root Formation in Cuttings*. Dioscorides Press, Portland, Oregon. pp 132-149.
- Bolhar-Nordenkamp HR, Long SP, Baker NR, Öquist G, Schreiber U, Lechner EG (1989) Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthesis competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Funct Ecol* 3:497-514.
- Boshier DH, Mesén JF (1988) Availability of seed of *Cordia alliodora* for progeny testing. *FAO For Genetic Resource Inf No.* 15:30-35.

- Dick JMCP, Dewar RC (1992) A mechanistic model of carbohydrate dynamics during adventitious root development in cuttings. *Ann Bot* 70:371-377.
- Eliasson L, Brunel L (1980) Light effects on root formation in aspen and willow cuttings. *Physiol Plant* 48:261-265.
- Fernquist I (1966) Studies on factors in adventitious root formation. *Lantbrukshogskolans Annaler* 32:109-244.
- Gay AP, Loach K (1977) Leaf conductance changes on leafy cuttings of *Cornus* and *Rhododendron* during propagation. *J Hort Sci* 52:509-516.
- Grange RI, Loach K (1983a) Environmental factors affecting water loss from leafy cuttings in different propagation systems. *J Hort Sci* 58(1):1-7.
- Grange RI, Loach K (1983b) The water economy of unrooted cuttings. *J Hort Sci* 58(1):9-17.
- Greaves A, McCarter PS (1990) *Cordia alliodora* - A promising tree for tropical agroforestry. Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford. Tropical Forestry Papers No. 22. 37 p.
- Haissig BE (1989) Carbohydrate relations during propagation of cuttings from sexually mature *Pinus banksiana* trees. *Tree Physiol* 5(3):319-328.
- Hartmann HT, Kester DE (1983) Plant propagation - principles and practices. 2nd. ed. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall. 702 p.
- Hoad SP, Leakey RRB (1992) Morphological and physiological factors induced by light quality and affecting rooting in *Eucalyptus grandis*. In: Mass Production Technology for Genetically Improved Fast Growing Forest Tree Species. Published by AFOCEL, Nangis, France. pp. 51-58.
- Kamaluddin M, Grace J (1992a) Photoinhibition and light acclimation in seedlings of *Bischofia javanica*, a tropical forest tree from Asia. *Ann Bot* 69:47-52.
- Kamaluddin M, Grace J (1992b) Acclimation in seedlings of a tropical tree, *Bischofia javanica*, following a stepwise reduction in light. *Ann Bot* 69:557-562.
- Leakey RRB, Chapman VR, Longman KA (1982a) Physiological studies for tropical tree improvement and conservation - some factors affecting root initiation in cuttings of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. *For Ecol Manage* 4:53-66.
- Leakey RRB, Mohammed HRS (1985) The effects of stem length on root initiation in sequential single-node cuttings of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. *J Hort Sci* 60 (3):431-437.
- Leakey RRB, Coutts MP (1989) The dynamics of rooting in *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. cuttings: their relation to leaf areas, node position, dry weight accumulation, leaf water potential and carbohydrate composition. *Tree Physiol* 5:135-146.
- Leakey RRB, Mesén JF, Tchoundjeu Z, Longman KA, Dick JMCP, Newton A, Matin A, Grace J, Munro RC, Muthoka PN (1990) Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Comm For Rev* 69(3):247-257.
- Leakey RRB, Dick JMCP, Newton AC (1992) Stockplant-derived variation in rooting ability: the source of physiological youth. In Mass Production Technology for Genetically Improved Fast Growing Forest Tree Species. Published by AFOCEL, Nangis, France. pp. 171-178.

- Leakey RRB, Newton AC, Dick JMCP (1993) Capture of genetic variation by vegetative propagation: processes determining success. In: Leakey RRB, Newton AC (eds) *Tropical trees: potential for domestication*. HMSO, London.
- Loach K (1977) Leaf water potential and the rooting of cuttings under mist and polythene. *Physiol Plant* 40:191-197
- Loach K (1988a) Controlling environmental conditions to improve adventitious rooting. In: Davis TD, Haissig BE, Sankhla N (eds) *Adventitious Root Formation in Cuttings*. Dioscorides Press, Portland, Oregon. pp 248-273.
- Lovell PH, White J (1986) Anatomical changes during adventitious root formation. In: Jackson MB (ed) *New Root Formation in Plants and Cuttings*. Developments in plant and soil sciences. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht. pp. 111-140.
- Mesén JF, Leakey RRB, Newton AC (1992) Hacia el desarrollo de técnicas de silvicultura clonal para el pequeño finquero. *El Chasqui* 28:6-18.
- Mesén JF, Boshier DH, Cornelius JP (1993) Genetic improvement of trees in Central America with particular reference to Costa Rica. In: Leakey RRB, Newton AC (eds) *Tropical Trees: Potential for Domestication, Rebuilding Forest Resources*. IUFRO/Edinburgh Centre for Tropical Forests, Edinburgh, Scotland, 24-28 August 1992.
- Moe R, Andersen AS (1988) Stockplant environment and subsequent adventitious rooting. In: Davis TD, Haissig BE, Sankhla N (eds) *Adventitious Root Formation in Cuttings*. Dioscorides Press, Portland, Oregon. pp 214-234.
- Newton AC, Jones AC (1993a) Characterisation of microclimate of mist and non-mist propagation systems. *J Hort Sci* 68(3):421-430.
- Newton AC, Jones AC (1993b) The water status of leafy cuttings of four tropical tree species during propagation. *J Hort Sci* (in press).
- Newton AC, Muthoka P, Dick JMCP (1992a) The influence of leaf area on the rooting physiology of leafy stem cuttings of *Terminalia spinosa* Engl. *Trees* 6:210-215.
- Okoro OO, Grace J (1976) The physiology of rooting *Populus* cuttings I. Carbohydrates and photosynthesis. *Physiol Plant* 36:133-138.
- Payne RW, Lane PW, Ainsley AE, Bicknell KE, Digby PGN, Harding SA, Leech PK, Simpson HR, Todd AD, Verrier PJ, White RB (1987) *GENSTAT 5: reference manual*. Clarendon Press, Oxford.
- Poulsen A, Andersen AS (1980) Propagation of *Hedera helix*; influence of irradiance to stockplants, length of internode and topophysis of cuttings. *Physiol Plant* 49:359-365.
- Veierskov B (1978) A relationship between length of basis and adventitious root formation in pea cuttings. *Physiol Plant* 42:146-150.
- Wilson JW, Munro K, Ingleby PA, Jefwa J, Muthoka PN, Dick JMCP, Leakey RRB (1989) Agroforestry and mycorrhizal research for semi-arid lands of East Africa. Annual Report ODA/NERC Contract No. R4319. Institute of Terrestrial Ecology. 110 p.

Table 1 The propagator microclimate in the seven days after insertion of *C. alliodora* cuttings in non-mist propagators with or without shade.

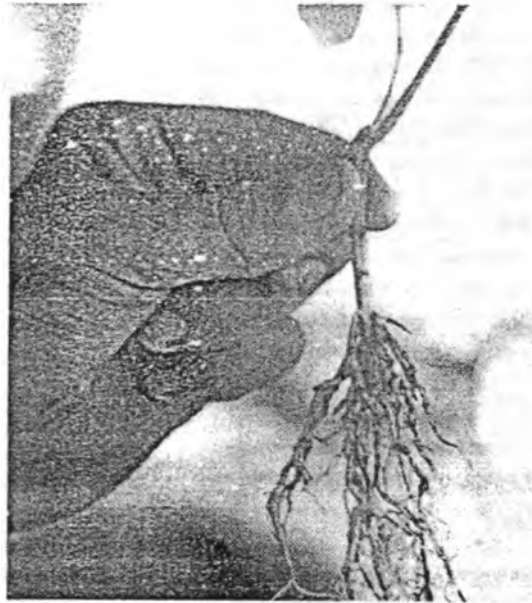
	Shaded propagator		Non-shaded propagator	
	Mean	Range	Mean	Range
Relative humidity (%)	92.0	72.9-100	87.5	51.4-100
Air temperature (°C)	24.5	19.2-33.6	26.5	17.8-41.9
Substrate temperature (°C)	24.7	21.6-28.8	26.5	21.4-33.1
PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	53	0-638	159	0-1638
Leaf temperature (°C)	26.2	19.9-39.4	27.3	19.2-48.0
VPD (kPa)	1.01	0.19-5.92	1.24	0.35-9.85

Table 2 The propagator microclimate after the insertion of *C. alliodora* cuttings in non-mist propagators with or without shade.

	Shaded propagator		Non-shaded propagator	
	Mean	Range	Mean	Range
Relative humidity (%)	98.9	96.0-100	94.7	71.0-100
Air temperature (°C)	21.9	19.9-25.3	24.3	20.4-37.0
Substrate temperature (°C)	22.3	21.1-23.9	23.9	20.8-34.2
PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	6	0-88	92	0-1278
Leaf temperature (°C)	23.5	21.2-27.9	25.1	21.2-41.0
VPD (kPa)	0.49	0.30-0.95	0.60	0.18-4.91

Table 3 The propagator microclimate after the insertion of *C. alliodora* cuttings in non-mist propagators with or without shade.

	Shaded propagator		Non-shaded propagator	
	Mean	Range	Mean	Range
Relative humidity (%)	99.9	92.4-100	94.8	60.0-100
Air temperature (°C)	23.4	19.0-31.8	25.3	18.5-43.4
Substrate temperature (°C)	23.4	20.4-29.0	25.6	20.9-38.9
PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	24	0-339	106	0-1460
Leaf temperature (°C)	24.9	20.2-32.1	26.7	19.6-47.5
VPD (kPa)	0.43	0.01-1.47	0.91	0.14-8.36



ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS JUVENILES DE *Gmelina arborea* Linn.*

Eric R. A. Díaz Maldonado¹
Rodolfo Salazar²
Francisco Mesén³

1. INTRODUCCION

El establecimiento de plantaciones forestales, es una opción para satisfacer las demandas del mercado y contribuir a la reducción de la tasa de deforestación. Para muchas de las especies forestales utilizadas hay dificultades para obtener semillas en la cantidad y calidad deseada. La propagación vegetativa representa una opción para establecer plantaciones de mayor rendimiento y calidad de los productos.

Gmelina arborea, es una especie de origen asiático, de crecimiento rápido y gran adaptabilidad a diferentes condiciones de suelo y clima; la madera ha sido utilizada para leña, carbón, madera de uso comercial y familiar (carpintería, ebanistería, paneles, instrumentos musicales, tallados y otros), además, se utiliza en construcciones rurales; asimismo, uno

de los usos principales es la fabricación de pulpa para papel (CATIE, 1986). El cultivo de esta especie representa una buena opción para las zonas húmedas y muy húmedas del trópico americano.

El presente trabajo muestra los resultados sobre el enraizamiento, brotación y el número de raíces en estacas juveniles de *G. arborea*, al utilizar distintas concentraciones de ácido indolbutírico (AIB), sustratos, áreas foliares y longitudes de estaca.

MATERIALES Y METODOS

Las pruebas de enraizamiento se realizaron en el vivero del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal (MGF) del CATIE, Turrialba, Costa Rica. Para cumplir con los objetivos, el estudio fue fraccionado en dos ensayos.

En el primero se probaron cinco dosis de ácido-3-indolbutírico (0,0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 %), aplicadas a la base de cada estaca, en 10 ml de metanol y evaporación inmediata del alcohol en una corriente de aire frío. Las estacas tratadas fueron puestas a enraizar en tres sustratos: arena, grava y la mezcla arena-grava (50:50 p/v), en propagadores con sub-irrigación como se describe adelante. Las estacas empleadas para todos los tratamientos tuvieron una longitud de 6 cm y el

* Extracto de la tesis de Eric Díaz, para optar al título de Magister Ciencias del CATIE, Junio 1990.
1 Estudiante del Programa de Posgrado del CATIE.
2 Ph.D. UICR Proyecto Madeleña, CATIE.
3 M.Sc. Líder del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE.

enraizamiento, la concentración de 0,2% presentó el mayor enraizamiento (44%), superando en un 14% a la dosis de 1,6%, la cual presentó el menor porcentaje de enraizamiento (30%)

Por muchos años, se han reconocido los beneficios de la aplicación de auxinas sobre la formación de raíces en las estacas (Hartmann y Kester, 1972). Sin embargo, parece que no hay una relación simple entre niveles de auxina y el enraizamiento. Hasta la fecha, el papel exacto de las auxinas no se comprende completamente (Gaspar y Hofinger, 1988). Además de los efectos directos de la auxina sobre la división y el crecimiento celular, los efectos benéficos de la auxina sobre el enraizamiento, han sido asociados con un aumento en el transporte de carbohidratos y cofactores hacia la base de la estaca, donde promueven la iniciación y el desarrollo de raíces (Haissig, 1974). Actualmente está bien establecido que ciertos metabolitos y otros factores de crecimiento, se trasladan hacia regiones del tallo que han sido tratadas con auxina. Los efectos de la auxina sobre la formación de raíces adventicias, probablemente sea el resultado de una interacción compleja entre éstos y otros procesos.

Los resultados anteriores reflejan claramente los efectos de la aplicación de AIB, que propicia la formación de raíces. También se observa que al elevar los niveles de AIB, es probable que se produzca una intoxicación. Lo anterior se refleja en la reducción del porcentaje de enraizamiento y el porcentaje de brotación, como se muestra con la dosis de 1,6%. Sin embargo, las estacas que lograron sobreponerse a la intoxicación, formaron un número mayor de raíces, probablemente por la influencia de la dosis mayor de AIB disponible, lo cual aumentó el promedio del número de raíces por estaca en dicho tratamiento.

Con base en estos resultados, para el establecimiento del segundo ensayo, se utilizó como sustrato la arena y la dosis de 0,2% de AIB.

Los análisis de varianza, realizados para las variables porcentajes de enraizamiento, porcentajes de brotación y promedio del número de raíces, indican que estadísticamente no hubo diferencias significativas, para la longitud de estaca ni para el área foliar; tampoco hubo interacción entre el área foliar y la longitud de estaca.

Las pruebas de rango múltiple (Tukey), para la longitud de estacas (Cuadro 3), reafirman los resultados del análisis de varianza. Estos resultados muestran que no hay diferencias significativas entre las medias de las diferentes variables. Sin embargo, en el porcentaje de enraizamiento, la longitud de 8 cm (78%) superó a las de 4 y 6 cm en 13% y 17%, respectivamente. Para el porcentaje de brotación, la longitud de 8 cm logró el mayor porcentaje (63%). En el número de raíces, la longitud de 8 cm superó a las otras dos longitudes en un 20%.

Los resultados anteriores reafirman lo expuesto por Baggio (1982), quien indica que para ciertas especies, las estacas de mayor tamaño enraizan mejor que las de menor tamaño. Probablemente, esto se debe al mayor contenido de sustancias de reserva en la estaca, las que intervienen en el proceso de formación de raíces.

Cuadro 3. Prueba de rango múltiple (Tukey) por longitud, para los porcentajes de enraizamiento, brotación y número de raíces para estacas de *G. arborea*, a las seis semanas de edad.

ENRAIZAMIENTO Longitud (%) (cm)	BROTACION Longitud (%) (cm)	RAICES Longitud (Nº) (cm)
8 78 a [*]	8 63 a	8 6 a
4 65 a	6 57 a	6 5 a
6 61 a	4 56 a	4 5 a

* Los tratamientos seguidos por letras diferentes, indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 0,05.

Las pruebas de rango múltiple para el área foliar (Cuadro 4), muestran que el área foliar de 50 cm² obtuvo los resultados mayores para los porcentajes de enraizamiento (71%) y brotación (65%). En cuanto al número de raíces, el área foliar de 100 cm² superó a las otras dos (50 y 25%) en 20 y 50%, respectivamente.

Los resultados anteriores indican que las áreas foliares de 50 y 100 cm², presentaron las mejores respuestas probablemente porque estas áreas favorecen una mayor tasa de fotosíntesis y con ello, un porcentaje mayor de enraizamiento.

Cuadro 4. Prueba de rango múltiple (Tukey) por área foliar, para los porcentajes de enraizamiento, brotación y número de raíces para las estacas de *G. arborea*, a las seis semanas de edad.

ENRAIZAMIENTO Area foliar (%) (cm ²)	BROTACION Area foliar (%) (cm ²)	RAICES Area foliar (Nº) (cm ²)
50 71 a [*]	50 65 a	100 6 a
100 69 a	100 62 a	50 5 a
25 59 a	25 49 a	25 4 a

* Los tratamientos seguidos por letras diferentes, indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 0,05.

Lo anterior concuerda con los experimentos de Leakey *et al.* (1982), con estacas de *Triplochiton scleroxylon* K. Schum, donde el mayor porcentaje de enraizamiento se obtuvo con una área foliar de 50 cm² (75% aproximadamente), a las 11 semanas.

área foliar se redujo a 50 cm². El diseño experimental fue de bloques completos al azar, en parcelas divididas con nueve bloques y unidades experimentales de seis estacas, donde las parcelas grandes fueron los sustratos y las subparcelas los diferentes niveles (dosis) de AIB.

Para realizar el segundo ensayo se utilizó la mejor concentración de AIB y el mejor sustrato, definidos en el primer ensayo. En éste se probaron tres longitudes de estacas (4, 6 y 8 cm) y tres áreas foliares (25, 50 y 100 cm²). El diseño experimental fue de bloques completos al azar en arreglo factorial (3X3), con ocho repeticiones y unidades experimentales de seis estacas.

La cámara de enraizamiento utilizada fue un propagador mejorado con tecnología de bajo costo. Estos propagadores son de fácil construcción, muy efectivos y no requieren agua de cañería ni electricidad. La construcción del propagador se basó en el diseño de Howland, modificado por Leakey y Longman en 1988 (Leakey *et al.* 1990). Su construcción fue hecha a base de madera y polietileno; en el fondo, a los lados y en la tapa se colocó una hoja de polietileno, con la finalidad de retener la humedad. La base se rellenó con capas sucesivas de piedra y grava y sobre ella, se colocó el medio de enraizamiento. Finalmente, se agregó agua hasta saturar las capas inferiores de piedra y grava, para mantener húmedo el sustrato por capilaridad.

Con el fin de disminuir la temperatura y la luz en la cámara propagadora, el área de propagación fue protegida con malla negra. Las condiciones ambientales promedio en la cámara de propagación fueron: temperatura del aire: 25,6 °C, temperatura del sustrato: 25,9 °C, irradiación solar: 54 mol/m²/seg y humedad relativa: 99%.

Como material vegetativo en ambos ensayos se utilizaron rebrotes juveniles y vigorosos, procedentes de varios clones del Proyecto MGF, manejados como setos vivos en el vivero forestal.

El efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de enraizamiento, brotación y el número de raíces por estaca, fue analizado después de 2, 4 y 6 semanas de haber colocado las estacas en la cámara propagadora.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el primer ensayo, el análisis de varianza para el porcentaje de enraizamiento, mostró que hubo diferencias altamente significativas ($p < 0,01$), para los sustratos y no significativas para las dosis de AIB. Para el porcentaje de brotación, el análisis de varianza indicó diferencias significativas ($p < 0,05$) para sustratos y dosis de AIB. El análisis de varianza para la media del número de raíces mostró diferencias altamente significativas ($p < 0,01$), tanto para sustrato como para dosis de AIB.

En ninguna de las variables analizadas se detectaron valores significativos para la interacción sustrato-dosis de AIB.

En las pruebas de rango múltiple (Tukey), para sustratos (Cuadro 1), se observó que el porcentaje de enraizamiento para arena (57%) fue mayor en 19% a la mezcla arena-grava (38%) y superior en 33% a la grava (24%). El porcentaje de brotación en arena, apenas superó a la mezcla en 6% y a la grava en 15%. Para el número de raíces, de igual manera que en los casos anteriores, la arena superó a la mezcla y a la grava en 55% y 89%, respectivamente.

Cuadro 1. Prueba de rango múltiple (Tukey) de sustratos para los porcentajes de enraizamiento, brotación y número de raíces para estacas de *G. arborea*, a las seis semanas de edad.

Sustrato (%)	Enraizamiento (%)	Brotación (N°)	Raíces
Arena	57 a*	33 a	17 a
Mezcla	38 b	27 ab	11 b
Grava	24 c	18 b	9 b

* Los tratamientos seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 0,05.

Para las dosis de AIB (subparcelas), las pruebas de rango múltiple (Cuadro 2), indican que para el porcentaje de brotación, la diferencia entre la mejor (0,4%) y la peor dosis (1,6%) fue superior al 100%. En el caso del número de raíces por estaca, se observa que hubo una relación positiva con la dosis de AIB. El mayor número de raíces se obtuvo para la dosis mayor (1,6%), con una media de 17 raíces, que superó en un 325% al testigo. A pesar de no haber diferencias significativas entre las medias para el porcentaje de

Cuadro 2. Prueba de rango múltiple (Tukey) para dosis de AIB, para los porcentajes de enraizamiento, brotación y número de raíces para estacas de *G. arborea*, a las seis semanas de edad.

Enraizamiento Dosis (%)	Brotación Dosis (%)	Raíces Dosis (N°)
0,2 44 a*	0,4 35 a	1,6 17 a
0,8 43 a	0,2 31 ab	0,8 15 a
0,4 42 a	0,0 24 ab	0,4 13 a
0,0 40 a	0,8 24 ab	0,2 12 a
1,6 30 a	1,6 17 b	0,0 4 b

* Los tratamientos seguidos por diferentes letras indican diferencias significativas según la prueba de Tukey al 0,05.

JEFATURA Rodrigo Salazar, Ph.D. Director Asst. Sr. Fabian Salas, Lic.	Líder Técnico Administración Asistente Técnico	SOCIOECONOMÍA Manuel Gómez, M.Sc.	Economista Asistente	PAISES GUATEMALA Carlos Figueroa, M.Sc.	Coordinador Nacional	COSTA RICA Carlos Navarro, M.Sc. Coordinador Nacional
SILVICULTURA Wilm Vázquez, M.Sc. Luis Ugalde, Ph.D.	Silvicultura Manejo de Información	EXTENSION Carlos Rivas, M.Sc. Es. Rodríguez, Lic. Ana Loaiza, Bch. Javier Vincenti	Extensionista Principal Editor Diseño Gráfico Audiovisuales	HONDURAS Rolando Gróñez, Das	Coordinador Nacional	PANAMA Bos Morán, Ing. Coordinador Nacional
				EL SALVADOR Modesto Juárez, M.Sc.	Coordinador Nacional	NICARAGUA Humberto Bejarano, Lic. Coordinador Nacional

* Madeleña 3 es el componente de diseminación del cultivo de árboles de uso múltiple, del Proyecto RENARM/CATIE, en América Central y Panamá. Es financiado por AID/ROCAP y ejecutado por INRENARE de Panamá, DGF de Costa Rica, COHDEFOR de Honduras, CENTA de El Salvador, DIGEBOS de Guatemala, IRENA de Nicaragua, con la coordinación regional del CATIE.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sustrato que presentó los mejores porcentajes de enraizamiento (57%) y mayor número de raíces (17), para *G. arborea* fue la arena, la cual presentó un buen equilibrio entre aireación y retención de humedad, en comparación con los otros sustratos probados.

La dosis de AIB que propició el mayor porcentaje de enraizamiento fue la de 0,2%.

Los efectos de la aplicación de AIB, sobre el enraizamiento fueron claramente notorios. Al aumentar la concentración de la hormona en la estaca, se propició una mayor formación de raíces, pero al elevar demasiado los niveles de la hormona, se produjo una intoxicación, lo cual se reflejó en la disminución del porcentaje de enraizamiento en la dosis de 1,6%.

Los mayores porcentajes de enraizamiento, brotación y número de raíces, se obtuvieron con la longitud de 8 cm, aunque las diferencias no fueron significativas.

Asimismo, aunque las diferencias entre áreas foliares no fueron significativas, las estacas con el área foliar de 50 cm², presentaron los mayores porcentajes de enraizamiento (71%) y brotación (65%) y un número aceptable de raíces por estaca.

La cámara de propagación se considera satisfactoria para el enraizamiento de estacas juveniles de *G. arborea*, ya que las condiciones de humedad relativa, irradiación solar y temperatura de la cámara, no permitieron la pérdida de agua en las hojas, obteniéndose un enraizamiento aceptable.

SILVOENERGIA No.49, Diciembre de 1991, CATIE 7170, Turrialba, Costa Rica. Edición: / Elí Rodríguez / Diseño y Montaje: Ana Loaiza / Levantado de Texto: Lisbeth Alfaro / Este trabajo fue escrito por: E.Díaz/R.Salazar/F.Mesén / Revisores: Luis Ugalde y William Vázquez / Publicación patrocinada por el Proyecto RENARM/MADELEÑA 3. Diseminación del Cultivo de Árboles de Uso Múltiple / CATIE/ROCAP 590-0150. / Edición de 1500 ejemplares.

Para el enraizamiento de estacas juveniles de *G. arborea*, en este tipo de propagador, se sugiere utilizar arena como sustrato, una dosis de 0,2% de AIB, una longitud de estaca de 8 cm y una área foliar de 50 cm².

BIBLIOGRAFIA

BAGGIO, A. J. 1982. Establecimiento, manejo y utilización del sistema agroforestal cercos vivos de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud., en Costa Rica: Tesis Mag.Sc. Turrialba, C.R., UCR/CATIE. 91 p.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. 1986. Silvicultura de especies promisorias para producción de leña en América Central; resultados de cinco años de investigación. Turrialba, C.R., CATIE. (Serie Técnica. Informe técnico No. 86.). 227 p.

GASPAR, F.; HOFINGER, M. 1983. Auxin metabolism during adventitious rooting. In *Adventitious Root Formation in Cuttings*. ed. by T. D. Davis, B. E. Haissig; N.B. Sankhla, Portland, Or., EE.UU. B: E. Dioscorides Press, p 117-131.

HAISSIG, B. E. 1974. Influences of auxins and auxin synergists on adventitious root primordium initiation and development. *New Zealand Journal of Forestry Science* (N.Z.) 4(2):311-323.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. 1972. Propagación de plantas: principios y prácticas. Trad. por Marino Ambrosio A. La Habana, Cuba, Instituto Cubano del Libro. 693 p.

LEAKEY, R. B.; CHAPMAN, V. R.; LONGMAN, K. A. 1982. Physiological studies for tropical tree improvement and conservation: factors affecting root initiation in cuttings of *Triplochiton secleroxylon* K. Schum. *Forest Ecology and Management* (Holanda) 4:53-66.

LEAKEY, R. B. *et al.* 1990. Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review* (G.B.) 69(3):247-257.

**VEGETATIVE PROPAGATION OF CENTRAL AMERICAN
HARDWOODS**

José Francisco Mesén

**Ph.D. Thesis
UNIVERSITY OF EDINBURGH
1993**

CHAPTER 9

CONCLUSIONS

Introduction

Cordia alliodora and *Albizia guachapele* can be easily propagated by leafy, stem cuttings, using low-technology, non-mist propagation systems, regarding that pathogen-free stockplants are used. The process of adventitious root formation, however, was dependant on a large number of genetic, physiological, morphological and environmental factors, operating both pre- and post-severance in a complex and interrelated fashion. In addition, evidence was presented suggesting that treatments which may be optimum during the initial stages of the propagation process, may not be so in later stages. This is in agreement with the generally accepted concept that there is at least two stages involved in adventitious root production, and that the factors which influence root initiation may not be the same as the ones that influence root development (Lovell and White 1986).

C. alliodora and *A. guachapele* varied in their response to similar treatments, sometimes in a clearly opposite pattern, probably as a result of the genetic differences associated with adaptations to the contrasting ecological conditions where each of the species grow (wet and dry forest respectively).

This study focussed on some of the factors, both pre- and post-severance, generally accepted as having a crucial influence in determining the rooting ability of leafy cuttings. The effects of these factors and their influence on the physiological processes known to influence adventitious root formation in cuttings are discussed below.

Stockplant growth environment

The physiology and morphology of stockplants, and their subsequent rooting ability, were modified by variations in irradiance and nutrient supply. The growth of *C. alliodora* stockplants was reduced by low light and by the application of nutrients. High nutrient supply also reduced the growth of *A. guachapele* stockplants, but plants were taller under low light. The negative effect of high nutrients on the growth of both species was probably related to a greater diversion of nutrients to the leaves at the

expense of stem growth, as leaves of stockplants grown under high nutrients had a lower specific leaf area, particularly under low light. It is also possible that excess NPK in the soil caused an imbalance in the general nutritional state of the plants, with negative consequences on growth, but this aspect was not investigated. The lower growth rate of *C. alliodora* plants under low light was unexpected, as most plants respond to low irradiance by etiolation, i.e. internode elongation. Such was the case with *A. guachapele* in this study and with a number of other tropical species (Leakey and Storeton-West 1992; Hoad and Leakey 1992). The effect on stem elongation of the latter studies, however, were associated with the R:FR ratios achieved under the controlled environment conditions where the experiments were carried out. In the *C. alliodora* study, plants were grown under natural R:FR ratios; the higher shoot growth obtained under high irradiance probably resulted from the higher photosynthetic rates shown by these plants. A retardation in growth of plants grown under low irradiance has also been found in a number of other species (Corré 1983a,b,c). According to this author, such retardation occurs before the morphological adaptations to weak light are accomplished; the relative increase in leaf area that normally occurs under low light cannot compensate for the lower productivity any longer, and the relative growth rate will decline. This response of plants to different irradiances is consistent with the results obtained in the present study.

In both species, a high nutrient application to the stockplants reduced the subsequent rooting percentage of cuttings, in agreement with the findings of Pearse (1943), Moe and Andersen (1988) and Leakey and Storeton-West (1992) in a range of different species. It appears that cuttings from stockplants grown with a high nutrient supply may have had a supraoptimal carbohydrate content. A high concentration of leaf starch in cuttings may suppress post-severance photosynthesis and their rooting due to end-product inhibition, as has been shown by Leakey and Storeton-West (1992) and Hoad and Leakey (1992). A reduction in net photosynthetic rate as a result of high nutrient supply was found in *A. guachapele* stockplants grown under high irradiance. Stockplants with a high nutrient supply also had lower specific leaf areas (thicker leaves); this may result in greater mutual shading of chloroplasts and reduced efficiency of gas exchange (Hoad and Leakey 1992). The initial stimulus for root formation, and hence rooting percentage, seems to be little influenced by the nutritional status of a stockplant or cutting, since root primordium initiation appears to be hormonally controlled (Lovell and White 1986; Moe and Andersen 1988; Veierskov *et al.* 1982a,b; Veierskov and Andersen 1982). Therefore, the reduction in rooting percentage as a result of high nutrient supply to the stockplant may be dependent on hormonal factors rather than the nutritional status of the stockplants or cutting. In this regard, low photosynthetic activity, induced by a supraoptimal concentration of

nutrients in the cutting, may reduce the auxin supply to the base of the cutting, as has been shown by Heide (1968), Hilman and Gaston (1961), Kumpula and Potter (1984), Scott and Briggs (1963) and Vardar (1968). The transport of other rooting cofactors produced in leaves and buds is also reduced under conditions of low photosynthetic activity (Davis 1988). It is also possible that photosynthesis influences the formation of a non carbohydrate, non-auxin component which may be involved in root initiation (Davis 1988). These indirect effects of reduced photosynthesis on rooting, influenced by high nutrient supply to the stockplants, were probably responsible for the low rooting shown by subsequent cuttings in this study. Indeed, *A. guachapele* cuttings from stockplants grown with high nutrients showed a significant reduction in the chlorophyll fluorescence ratio (F_v/F_m) during most part of the propagation period, as well as a reduction in dry mass after 10 days in the propagator. These are good indicators of a reduction in the photosynthetic ability of such cuttings.

The light environment under which the stockplants were grown had a less dramatic effect than the nutrient treatments on subsequent rooting, but some interesting interactions were found. In *A. guachapele*, high stockplant irradiance reduced subsequent rooting, and this effect was greater when high nutrients were applied. In *C. alliodora*, on the other hand, high irradiance increased rooting in cuttings from stockplants grown with a high nutrient supply. There is a similarity in this response, however, in the sense that high nutrients, in both cases, reduced rooting of cuttings from stockplants grown under those light environments which caused a reduction in their growth rate. Therefore, it seems that the negative effect on rooting of short cuttings formed under low (*C. alliodora*) or high light (*A. guachapele*) was enhanced by a high nutrient application, probably as a result of supraoptimal carbohydrate content in these cuttings, as discussed above.

Regarding the number of roots produced by the cuttings, results were consistent with the widely accepted view that root initiation and root development may be influenced by a different set of conditions (Lovell and White 1986). Thus, treatments associated with a high rooting percentage may induce the formation of fewer roots per cutting and *vice versa*. The initial stimulus for root formation, and hence rooting percentage, seems to be little influenced by the nutritional status of a stockplant or a cutting, since root primordium initiation appears to be hormonally controlled (Lovell and White 1986; Moe and Andersen 1988; Veierskov *et al.* 1982a,b; Veierskov and Andersen 1982). The number of roots produced by the cutting, on the other hand, appears to be highly influenced by the cuttings' ability to supply carbohydrates, either from stored reserves or through current photosynthesis, to the area where roots appear (Haaland 1976; Moe and Andersen 1988). Therefore, there was an apparent

contradiction that either high light, high nutrients, or both, caused a reduction in root numbers in both species. Similar results have been observed in a range of different species (Hoad and Leakey 1992; Leakey and Storeton-West 1992; Pearse 1943; Moe and Andersen 1988). It appears that a high concentration of leaf starch in cuttings may suppress current photosynthesis due to end-product inhibition. As noted above, indications of a reduction in photosynthetic ability of these cuttings during propagation were observed in *A. guachapele*. This was consistent with a greater pre-severance photosynthetic rate. These results correspond with those of Hoad and Leakey (1992), Leakey and Coutts (1989), Leakey and Storeton-West (1992), Leakey *et al.* (1992; 1993) and Newton *et al.* (1992a), who suggested that root formation in cuttings is dependant not only on their initial carbohydrate content but also on an adequate rate of current photosynthesis during propagation, this being related to photosynthetic capacity prior to severance.

Cutting origin

The physiology, morphology and subsequent rooting potential of a cutting is influenced by the position within a stem from which the cutting originates (Hartmann and Kester 1983; Lo 1985; Leakey and Coutts 1989; Leakey *et al.* 1993). In *Triplochiton scleroxylon*, it has been found that among the large variety of factors affected by cutting origin, the effect on internode length and diameter seems to be the most important, through its influence on the cuttings capacity to store assimilates produced both pre- and post-severance (Leakey *et al.* 1993). In this species, cutting length was found to be strongly correlated with rooting percentage (Leakey and Mohammed 1985). In most studies, however, cutting morphology has been more commonly correlated with the number of roots produced by the cutting (Poulsen and Andersen 1980; Veierskov 1978). This is in agreement with the view that the storage capacity of cuttings appears to be very important for root development but not for root initiation (Veierskov and Andersen 1982; Veierskov *et al.* 1982a,b). The results of this study seems to support the latter view, since cutting morphology generally affected the number of roots produced by the cuttings of both species but not their rooting percentage.

With *C. alliodora*, an increase in cutting diameter (within the tested range - 3 to 6 mm) generally resulted in a significant increase in number of roots, while no significant correlations were found between number of roots and cutting length. Cutting diameter followed the normal trend of increase from apical to basal nodes but no clear patterns were evident between cutting origin and cutting length.

The lack of relationships between number of roots and cutting length in *Alliadora* was probably due to the fact that differences in length were usually small or absent, when standard length cuttings were used. The beneficial effect of increasing cutting diameter on the number of roots produced by the cuttings indicated the importance of stored reserves on root development. The rate of current photosynthesis did not show any clear pattern in cuttings from different origins within the stem and relationships were found between this and number of roots. A great deal of discussion has been devoted to the relative importance of stored reserves and assimilates formed during propagation on rooting, but separating these effects is probably impossible since induced variations in current photosynthesis would affect many other related processes that may also have a determinant effect on rooting. From this study, it would appear that cutting diameter, and hence stored reserves, had a stronger influence on the number of roots produced by the cuttings than current photosynthesis. However, it is known that very little light is needed to saturate photosynthesis in unrooted cuttings (Davis and Potter 1987) and even low rates of current photosynthesis can contribute significantly to the carbon budget of a given plant part (Okoro and Grainger 1976). In this study, cuttings from all node positions actively photosynthesized during the propagation period, with mean rates of between $2.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and $3.1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. It is possible that even the lowest rate of current photosynthesis was sufficient to provide an adequate supply of assimilates but cuttings with greater stored reserves had a comparative advantage. Cuttings taken sequentially down a stem are known to vary in morphology, nutrient, starch and sugar contents, water relations, plant growth regulators, rooting cofactors, photosynthetic capacity and probably other factors, but the magnitude and importance of this variation across short stems is unknown. The lack of systematic differences in rates of current photosynthesis and stomatal conductance between cuttings from different origins suggests that these processes were not differentially affected, and that the main effect of node position on root development resulted from differences in cutting diameter and the related differences in stored reserves.

With *A. guachapele*, a positive relationship was found between rooting percentage and cutting length, while a negative relationship was found with cutting diameter. Cutting diameter increased normally from the apical to the basal nodes while cutting length decreased in the same direction. As noted above, number of roots and rooting percentage is normally related to cutting morphology. In *A. guachapele*, basal nodes are extremely short (3 cm-3.5 cm), woody and hollow and inappropriate for rooting. These cuttings also had a greater susceptibility to rotting, because the leaves were lying on the surface of the medium. The same negative effects of short

nodes has been found in *Eucalyptus grandis* (Hoad and Leakey 1992). These authors found that a large stem dry mass or volume, with a large but not too concentrated pools of soluble and storage carbohydrates provide an adequate supply of carbohydrates without inhibiting photosynthesis; current photosynthesis may be inhibited if stems are too short. Therefore, the correlations found in this study may simply reflect the high mortality rate of these short, basal nodes. The number of roots produced by these basal cuttings was also reduced, particularly in the most basal node, highlighting once again the importance of stored reserves and assimilates produced during propagation on root development and growth.

In *C. alliodora*, when cuttings from different node positions were potted and evaluated for growth characteristics, strong positive correlations were found after three months growth between cutting diameter and total height, shoot basal diameter and height to the first whorl of branches. The first two correlations can be explained in terms of stored reserves in the cuttings, which give thicker cuttings an initial advantage. In addition, cutting diameter was also positively correlated with the number of roots produced by the cuttings, and therefore, it was expected that the greater number of roots of thicker cuttings resulted in an advantage in terms of initial growth of the plants. It was not clear why the height to the first whorl of branches was also affected by cutting diameter. It is possible that each individual internode maintains the same role previously defined within the whole plant, perhaps due to endogenous levels of growth regulators along a gradient within the stem. In this way, thinner cuttings from apical positions would produce the first tier of branches at a lower height than thicker cuttings from lower sections of the stem. The correlations between cutting diameter and shoot basal diameter and shoot height became weaker after six months and disappeared after ten months growth, as other factors which normally influence growth, such as soil fertility, type of root system, biomass production, availability of water, etc. started to play a greater role. The correlations between cutting diameter and height to the first whorl of branches remained constant, as this characteristic does not vary with time.

Post-severance treatments

Foliar area and irradiance during propagation

The cutting's ability to photosynthesize and remain turgid during the propagation period has been identified as an important factor determining rooting success (Eliasson and Brunes 1980; Leakey *et al.* 1982a; Leakey and Coutts 1989;

Leakey *et al.* 1993; Newton *et al.* 1992a; Okoro and Grace 1976). The practice of trimming the leaf aims at minimizing water loss while allowing some photosynthesis during the rooting process (Leakey and Coutts 1989). These processes are influenced by the amount of light received by the cuttings, both through its direct effects on photosynthesis and its indirect effects on air and leaf temperature, VPD and stomatal conductance (Loach 1988a).

In *C. alliodora*, interesting interactions were found between foliar area and irradiance during propagation. Very low irradiances during propagation resulted in a low rooting percentage of cuttings with small foliar areas (10 cm²), but an increase in rooting occurred in cuttings with foliar areas of 20 cm² and 30 cm². Under high irradiance, rooting percentage decreased with increases in foliar area. The results suggest that low rates of current photosynthesis and/or amount of stored reserves in the small leafed cuttings were insufficient to support the cutting long enough to initiate the formation of roots. Auxin transport and/or synthesis may also be reduced under conditions of low photosynthetic activity (Heide 1968; Hillman and Galston 1961; Scott and Briggs 1963; Vardar 1968). Although this aspect was not investigated, it may be important in stimulating root primordium initiation. Indeed, when the experiment was repeated using a slightly higher irradiance, no differences in rooting percentage were found between the three leaf area treatments. The importance of an active rate of current photosynthesis on rooting, as has been suggested by Davis (1988) and Leakey and Coutts (1989), was supported by the strong positive relationships found in this study between the chlorophyll fluorescence ratio of cuttings and final rooting percentage. It was also evident that cuttings display an optimal photosynthetic rate when irradiance reaches a certain peak. P_n in cuttings increased with increases in irradiance until approximately 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, to decrease with further increases in irradiance. The photosynthetic rate also decreased with increases in leaf area, particularly under high irradiance; this probably resulted from the closure of stomata which restricted gas exchange, as larger leaves are more susceptible to water loss and the associated water deficits. This reduction in photosynthesis corresponded with decreases in rooting percentage.

The number of roots produced by the cuttings showed an opposite pattern to that of rooting percentage, in relation to leaf areas and irradiance during propagation. Increases in leaf areas and irradiances resulted in increases in root numbers. This supports the view that root initiation and root development are affected by a different set of conditions, as discussed above. In this study, it was evident that total production of assimilates had a greater influence on the number of roots produced by cuttings than on rooting percentage. Therefore, it appears that a high photosynthetic activity

promotes the initiation of root primordia through its effects on hormonal factors rather than nutritional effects. These factors include increased transport and/or production of auxin and other rooting cofactors to the base of the cutting, where they promote rooting (Davis 1988; Heide 1968; Hillman and Galston 1961; Kumpula and Potter 1984; Scott and Briggs 1963). Once the initial stimulus for root initiation occurs, a higher availability of stored reserves or current assimilates will determine the number of roots than can be supported by the cutting. In this regard, cuttings with large leaf areas and high irradiances during propagation would result in the production of larger number of roots in this species, providing that low irradiances are used during the initial stages of the rooting process. This is in agreement with early suggestions by Leakey (personal communication) that for some species, it may be beneficial to increase the irradiance progressively during the rooting period.

Rooting medium

The importance of the rooting medium on propagation has been known for many years (Andersen 1986; Hartmann and Kester 1983). It is agreed that the provision of water is a prime requirement, but it is also clear that oxygen is necessary for adventitious root development in cuttings (Hartmann and Kester 1983; Loach 1986). It appears that the optimal balance between air and water differs according to the species involved, the propagation system and even the weather (Loach 1988a). This is probably the reason why, generally, claimed correlations between air or water content and rooting have not been reproducible in repeated propagations (Loach 1986). Besides, since percent air and water are inversely correlated for any one medium, it is not possible to say whether high air content or low water content promoted higher rooting (Loach 1986).

In this study it appears that, in *C. alliodora*, water content was more related to rooting ability than air content. Both rooting percentage and number of roots produced by the cuttings were significantly larger in sand and gravel than in sawdust. The air content of sawdust and gravel, however, was almost identical, and the main difference between sawdust and the other two media was the larger water content of the former. No relationships were evident between the air/water ratio of the media and the rooting ability of cuttings: the air/water ratio of the media was similar for sawdust (0.57) and sand (0.33), while a much larger ratio was found in gravel (7.00).

It was interesting to find that in spite of the lower rooting of cuttings in sawdust, the photosynthetic rates of cuttings in all media were similar, with rates

between $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and showed a similar pattern following increments in light. Furthermore, cuttings in sawdust showed larger chlorophyll fluorescence ratios during the first three weeks in the propagators, which indicates the proper functioning of the photosynthetic apparatus of these cuttings (Bolhar-Nordenkamp *et al.* 1989). It is possible that the larger foliar temperatures of cuttings in sand ($43.1 \text{ }^\circ\text{C}$) and gravel ($43.3 \text{ }^\circ\text{C}$), as compared with sawdust ($31.4 \text{ }^\circ\text{C}$) resulted in this reduction in chlorophyll fluorescence ratios, as it is known that most leaves are damaged at approximately $42 \text{ }^\circ\text{C}$ (Turner and Newton 1990). The larger availability of water in sawdust probably resulted in this difference in foliar temperature, through the cooling effect of water condensing on the leaves of cuttings in this medium.

It appears, therefore, that the negative effect of sawdust on rooting was more related to the excessive water content of this medium, and the subsequent rotting of cutting bases, than on the physiological condition of the aerial part of the cuttings. This result highlighted the importance in propagation of optimizing all factors that may affect rooting, as discussed by Leakey *et al.* (1993); considering only some processes that occur in the leaf does not necessarily result in greater rooting if other processes in other parts of the cutting are operating under suboptimal conditions.

Auxins

For many years it has been known that auxins increase the percentage of cuttings which form roots, but also hasten root initiation, increase the number and quality of roots produced per cuttings and increase uniformity of rooting (Blazich 1988; Hartmann and Kester 1983). The effects of auxins on rooting have been associated with an increase in cell division and enhanced transport of carbohydrates and leaf cofactors to the base of the cutting (Haissig 1974a). Exogenous auxin may also induce DNA synthesis in suitable cells (Gaspar and Hofinger 1988). It is presently unknown whether applied auxins have an indirect effect on other physiological processes that may stimulate rooting, such as water and photosynthetic relations.

In this study, rooting percentage of *C. alliodora* was considerably enhanced by increasing concentrations of indol-3-butyric acid (IBA) from 0 % to 1.6 %. *A. guachapele* generally responded equally to a range of concentrations between 0.05 % and 0.4 % IBA, showing a decrease in rooting with higher concentrations. In both species, rooting was generally very low when no IBA was applied. In *C. alliodora*, the number of roots per rooted cutting significantly increased with increasing concentrations of IBA; a similar trend was found in *A. guachapele*, although a slight

reduction in root numbers was sometimes observed with the highest concentration used (0.8 %).

It was not possible, however, to establish a clear relationship between IBA concentration and water relations or production of assimilates in the cuttings. The relative water content of *C. alliodora* cuttings was unaffected by variations in IBA concentration, as the observed changes followed a similar pattern in all cuttings, regardless the IBA concentration used. Changes in relative water content appeared to be related to environmental changes during the propagation period. Similarly, no relationships were found between changes in foliar or total dry mass and final rooting. The increase in total dry mass with time indicated that photosynthesis did occur in cuttings during propagation, but the increment was similar in all treatments. It must be taken into account that dry mass is only a rough indicator of photosynthetic activity (Davis 1988) and there is also the problem, which is impossible to avoid experimentally, of calculating gains or losses based on different samples. Although the corrections used in this study attempted to reduce this problem, it is likely that only slight differences in the estimations may obscure the relatively minor differences in dry mass that may occur in the cuttings.

Increasing concentrations of IBA clearly inhibited bud growth, and a strong negative relationship was found between the percentage of cuttings with actively growing shoots at week 4 and final rooting percentage. This suggests that IBA enhanced competition for assimilates and probably other factors by the cutting base, with sink strength successively enhanced by each increase in IBA concentration. It is known that growing shoots may act as a sink for assimilates in competition with the cutting base, which may limit rooting (Davis 1988). The same result was found in *Populus tremula*, in which root growth was significantly reduced by shoot growth (Eliasson 1971). This is in agreement with the work of Phillips (1969; 1975), who found that metabolites and other growth factors are translocated to auxin-treated regions of the stem.

In *A. guachapele* it was interesting to find that, although the general response to IBA followed a similar pattern in all experiments, the optimal concentration varied. In addition, control cuttings (without IBA) showed different rooting percentages in different experiments, from less than 20 % to approximately 55 %. These differences may be due to the fact that these were preliminary experiments, using seedling material, and that no attempt was made to standardize many other factors that may influence rooting. It is also possible that seasonal changes in endogenous auxin occur in *A. guachapele*, as has been found in other species (Gaspar and Hofinger 1988), and

this influenced the cuttings' response to exogenous auxin applications.

The increase in number of roots obtained with increasing concentrations of IBA found in this study is in agreement with results obtained with many other species (Mesén *et al.* 1992). In these studies, as with *A. guachapele*, the optimal concentration for root production was always higher than that for rooting percentage. This is probably related to the suggestion that each of the successive phases that occur during the rooting process has a specific associated physiology and the need for auxin in each phase may be different (Gaspar and Hofinger 1988). Little is known about the different auxin requirements in each phase, but at least two different phases of sensitivity to IAA are known (Imaseki 1985). The results of this study suggest that the IBA requirements during the initial stages of the rooting process are lower than those at later stages and that concentrations that inhibit the initiation of root primordia may become optimal for root development. It is impractical to increase the IBA concentration at some point of the rooting process and besides, it is unknown when such a treatment should be applied. However, the number of roots produced by the cuttings would be increased by using the highest possible IBA concentration within the optimal range for rooting percentage.

Clonal variation

Clonal differences in rooting ability have been noted for at least 50 years, although in many cases, clonal variation has been confounded with other nongenetic factors that are transmitted from the parent ortet to their ramets (*M-effects*) or with characteristics of the individual propagules (*m-effects*) (Haissig and Riemenschnider 1988). In this study no attempt was made to investigate clonal variation in any detail. However, *M-effects* were probably eliminated in these studies by using equal age stockplants. Similarly, *m-effects*, or characteristics of the individual propagules such as diameter, were indirectly included as design variables through allocation of cuttings in order by their position within the stem. Sorting cutting diameter by replication has been used to separate *C-effects* -nongenetic factors in general- from genetic effects (Wilcox and Farmer 1968). Therefore, differences between clones found in this study are probably genetic differences.

Little is known about genetic aspects of rooting, although substantial evidence exists that rooting by cuttings is genetically controlled (Haissig 1986). It is known that clones vary in their concentrations of endogenous auxin, rooting cofactors or inhibitors, anatomy, leaf retention and many other interacting factors that may affect rooting

(Leakey *et al.* 1982), all of which are likely to produce differences in rooting ability, as observed in the present study. Current theory suggests that lack of essential genes or their inadequate expression may preclude organ regeneration (Haissig and Riemenschnider 1988). However, little is known about the possible genetic modes of action or genetic variation in physiological and biochemical mechanisms that mediate gene expression (Haissig and Riemenschnider 1988).

Practical implications

In *C. alliodora* stockplants, low irradiance resulted in higher number of roots in subsequent cuttings but the plants grew slower and produced shorter cuttings (Chapter 5). It may be worth trying an intermediate irradiance, which could perhaps improve the quality of the cuttings produced, as compared to low light, without negatively affecting their rooting ability. Planting a shade tree among the stockplants may be a practical way of achieving this, as has been done with *Triplochiton scleroxylon* stockplants grown under *Leucaena leucocephala* (Leakey and Storeton-West 1989). Shade should also be used for growing *A. guachapele* stockplants, to stimulate the production of longer internode cuttings, which show a higher rooting ability.

In *C. alliodora* cuttings with diameters of around 5 mm-6 mm should be used to stimulate the production of higher number of roots per rooted cutting. Cutting length is not critical, but cuttings longer than 30 mm should be used (Chapter 4). Thicker cuttings also result in plants with faster initial growth and the formation of branches higher up in the stem (Chapter 6). In *A. guachapele*, on the other hand, the use of thin (around 4 mm) and long (around 40 mm) cuttings result in higher rooting percentage and higher number of roots per cutting. Short, hollow cuttings from basal sections of the stem should be avoided (Chapter 8).

Indole-3-butyric acid (IBA) should be applied to the cutting base to increase the rooting percentage and the number of roots produced by the cuttings of both species. In *C. alliodora*, the higher concentration tested (1.6 % IBA) produced the best results, both in terms of rooting percentage and number of roots per rooted cutting (Chapter 3). In *A. guachapele*, rooting percentage was equally increased by IBA concentrations of between 0.05 % and 0.2 %, while the number of roots tended to increase with increasing IBA concentrations from 0 % to 0.8 %. However, as cuttings with a concentration of 0.2 % IBA produced sufficient roots (an average of nine roots in different studies), it seems reasonable to recommend a concentration of 0.2 % IBA, to avoid the negative effect of higher IBA concentrations on rooting percentage (Chapter

8). In all these studies, IBA dissolved in methanol was used, applying 10 μ l droplets of solution to the clean cut base of the cuttings.

Cuttings of *C. alliodora* rooted equally well in sand and gravel, while both the rooting percentage and the number of roots per cutting were reduced when sawdust was used. It seems that rooting in this species is negatively affected when a rooting medium with a high water content is used. Sand should be preferred for practical reasons, since the practices of making the holes, inserting the cuttings in the rooting medium and removing the cuttings for evaluation are simplified in this medium as compared to gravel (Chapter 7). In *A. guachapele* it seems that media with a low air content, such as sand, are inappropriate for rooting. Gravel, or the mixtures (50:50 p/v) of sawdust with either sand or gravel should be used, as these media increased rooting ability of this species (Chapter 8).

In *C. alliodora*, propagation without shade resulted in extremely high temperatures inside the propagator, which damaged the leaves and reduced rooting, particularly when cuttings with high foliar areas (20 cm²-30 cm²) were used. Excess shade (two layers of black plastic netting), on the other hand, resulted in low photosynthetic activity of the cuttings and reduced rooting, particularly in cuttings with small foliar areas (10 cm²). Foliar areas of 30 cm² and irradiances of between 300 μ mol m⁻² s⁻¹ and 400 μ mol m⁻² s⁻¹ were found appropriate, to maximize photosynthetic rates and rooting ability of cuttings. Although cuttings with smaller leaf areas showed similar rooting percentages than larger leaved cuttings at the same irradiances, which represents an advantage in terms of space in the propagator, the number of roots per cutting increased with increases in leaf area (Chapter 4). Increasing the irradiance progressively during the propagation period was suggested as a way to increase the number of roots produced by the cuttings, but this aspect needs further investigation.

In both species there is a strong clonal variation in rooting ability, and a preliminary selection should be carried out based on this variable. Clones with higher rooting percentage are not necessarily those with higher number of roots. However, most clones usually produced more than three well distributed roots per cutting, which is considered appropriate and therefore, rooting percentage could be used as a criteria for initial clonal selection (Chapters 3-6).

It is evident that adventitious root formation in cuttings is a complex process, affected by a large number of interrelated factors, operating both pre- and post-severance. While some factors operate in the leaf, others are generally of greatest importance in the cuttings base. Optimizing some of these factors does not necessarily

result in higher rooting, if other factors that occur in a different part of the cutting are limiting. In addition, evidence was presented that suggests that treatments which may be optimal during the stage of root initiation may not be so at later stages of root development. It is important to be aware of all the processes involved that may have an influence on rooting and the way they are affected by different treatments, in order to obtain successful rooting. The results obtained in this study shed more light on the process of adventitious root formation in cuttings, but it is clear that much research is still needed to finally understand this complex process completely.

LOW-TECHNOLOGY TECHNIQUES FOR THE VEGETATIVE PROPAGATION OF TROPICAL TREES

By LEAKEY, R.R.B.*, MESÉN, J.F.†, TCHOUNDJEU, Z.‡, LONGMAN, K.A.*,
DICK, J. McP.*, NEWTON, A.*, MATIN, A.‡, GRACE, J.‡, MUNRO, R.C.‡ and
MUTHOKA, P.N.‡

SUMMARY

Stem cuttings of five tree species from dry and semi-arid woodlands (*Acacia tortilis*, *Prosopis juliflora*, *Terminalia spinosa*, *Terminalia brownii* and *Albizia guachapele*) and seven species from moist tropical forests (*Cordia alliodora*, *Vochysia hondurensis*, *Nauclea diderrichii*, *Ricinodendron heudelotii*, *Lovoa trichiliodes*, *Gmelina arborea*, *Eucalyptus deglupta*) have been easily rooted in improved low-technology, high humidity polythene propagators in Kenya, Cameroon, Costa Rica and Britain. These propagators, which are cheap to construct, are very effective and have no essential requirements for either piped water or an electricity supply. Experiments have tested different rooting media, auxin applications and compared mist versus non-mist propagation.

Assessments of the physical and gaseous environment of the propagators has indicated ways of improving the rooting environment through an understanding of the sensitivity of the relative humidity to radiant energy and to opening the propagator for short periods (eg 2-3 minutes).

RÉSUMÉ

Des boutures de tige de cinq essences forestières de forêt claire aride et semi-aride (*Acacia tortilis*, *Prosopis juliflora*, *Terminalia spinosa*, *Terminalia brownii* et *Albizia guachapele*) et sept essences de forêt dense humide tropicale (*Cordia alliodora*, *Vochysia hondurensis*, *Nauclea diderrichii*, *Ricinodendron heudelotii*, *Lovoa trichiliodes*, *Gmelina arborea*, *Eucalyptus deglupta*) ont été enracinées facilement dans des propagateurs polyéthylène à humidité élevée de technologie de base au Kenya, au Cameroun, au Costa Rica et en Grande-Bretagne. Ces propagateurs, qui ne sont pas chers à confectionner, sont très efficaces et n'ont pas d'exigences essentielles ou pour de l'eau canalisée ou pour une alimentation en électricité. Des expériences ont testé des milieux d'enracinement et des applications d'auxine différents et ont comparé la propagation sous brumisation avec la propagation sans brumisation.

Des évaluations de l'environnement physique et gazeux des propagateurs ont indiqué des moyens d'améliorer l'environnement d'enracinement par une compréhension de la sensibilité de l'humidité relative à l'énergie radiante et à l'ouverture du propagateur pour des périodes courtes (par exemple 2-3 minutes).

* Institute of Terrestrial Ecology, Bush Estate, Penicuik Midlothian, EH26 OQB, Scotland.

† ITE/CATIE Link Project Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 7170 Turrialba, Costa Rica.

‡ ITE Forestry Project Office National de Régénération des Forêts, BP 163, Mbalmayo, Cameroon.

§ ITE Agroforestry and Mycorrhizas in Semi-arid Lands Project, National Museums of Kenya, PO Box 40658, Nairobi, Kenya.

¶ Department of Forestry and Natural Resources, University of Edinburgh, Kings Buildings, Mayfield Road, Edinburgh, EH9 3JU, Scotland.

RESUMEN

En estudios en Kenia, Cameron, Costa Rica y Gran Bretaña utilizando propagadores mejorados de baja tecnología, se enraizaron fácilmente estacas de tallos de cinco especies arbóreas de zonas áridas y semi-áridas (*Acacia tortilis*, *Prosopis juliflora*, *Terminalia spinosa*, *Terminalia brownii* y *Albizia quachapele*) y siete especies de bosque húmedo tropical (*Cordia alliodora*, *Vochysia hondurensis*, *Nauclea diderrichii*, *Ricinodendron heudelotii*, *Lourea trichiliodes*, *Gmelina arborea*, *Eucalyptus deglupta*). Estos propagadores son baratos de construir, muy efectivos y sin requerimientos imprescindibles de agua de canería ni de electricidad. Los ensayos han probado diferentes medios de enraizamiento, aplicación de auxinas y la comparación de propagación con y sin nebulización.

La evaluación del ambiente físico y gaseoso de los propagadores ha indicado maneras de mejorar el ambiente de enraizamiento entendiéndose que la humedad relativa es sensible a la energía radiante y la apertura del propagador por períodos cortos (ej. 2-3 minutos).

Introduction

It is now widely realized that vegetative propagation and clonal selection offer a means to greatly enhance the yield and quality of forest products from commercial plantings in the tropics (Leakey, 1987). However, there is a need to simplify the technology so that vegetative propagation can be achieved in the absence of mains electricity and a piped water supply. In addition, in many tropical countries, the high capital and running costs of currently available mist propagation systems makes them inappropriate, except for research or large-scale commercial projects.

The environmental requirements for root initiation in leafy stem cuttings are those that minimise physiological stress in the cutting. In general terms this means using shade to lower the air temperature and, by providing a high humidity, to reduce transpiration losses. By the latter, the vapour pressure of the atmosphere surrounding the cutting is maintained close to that in the intercellular spaces of its leaf.

There are numerous propagation systems used in commercial horticulture. These are usually based either on spraying mist, fogging or enclosing the cuttings in polythene. The advantages of polythene systems have been known for many years (Loach, 1977) and they have been used to propagate tropical hardwoods with good success, particularly at the Forest Research Institute of Nigeria, Ibadan (Howland, 1975).

Recent work by the Institute of Terrestrial Ecology (ITE) and its overseas collaborators has applied and improved the design of non-mist propagators for use with a wide range of timber and multi-purpose tree species from both tropical moist forests and semi-arid areas (Leakey and Longman, 1988). Recent studies with *Triplochiton scleroxylon* cuttings under intermittent mist have indicated that rooting ability is related to the production of reflux-soluble carbohydrates, apparently derived from current photosynthesis while the cuttings are in the propagation unit (Leakey and Storeton-West, in preparation). Furthermore, it seems that the ability to produce these carbohydrates is related to the pre-severance light environment and nutrient status of the cuttings while on the stockplants. Both the total irradiance and the light quality (red:far-red ratio) are important components of the pre-severance light environment, and these factors interact with nutrient availability to influence the rates of net photosynthesis and rooting. These variables to a large extent account for the variation in the rooting ability of cuttings of *T. scleroxylon* taken from different shoots of variously-treated stockplants (Leakey, 1983).

Materials and Methods

General

Juvenile shoots of twelve tree species (Table 1) have been used as leafy stem cuttings. The studies presented here were done in either glasshouses in the UK or under nursery conditions in Costa Rica, Kenya and Cameroon. In all instances, however, the propagator temperature was between 22–27°C, and the cuttings were prepared as described below and set in randomized blocks. The numbers of replicate cuttings per treatment were between 24 and 117. Standard errors for percentage rooting were calculated using the procedures of Bailey (1959) for data with binomial distributions.

Table 1 Tropical tree species vegetatively propagated using simple, low-tech propagators in Costa Rica, Cameroon, Kenya and Great Britain.

<i>Species</i>	<i>Family</i>	<i>Range</i>	<i>Uses</i>
<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	Verbenaceae	Indo-Burma region, and S.E. Asia, a Pan-tropical exotic	Timber
<i>Eucalyptus deglupta</i> Bl.	Myrtaceae	Tropical Australasia, a Pan-tropical exotic	Timber
<i>Nauclea diderrichii</i> (DeWild & Th Dur.) Merr.	Rubiceae	W. and C. Africa	Timber
<i>Lovoa trichilioides</i> Harms	Meliaceae	W. and C. Africa	Timber
<i>Ricinodendron heudelotii</i> (Baili.) Pierre ex Pax	Euphorbiaceae	W. and C. Africa	Fruit
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	Ehretiaceae	C. America	Timber
<i>Vochysia hondurensis</i> Sprague	Vochysiaceae	C. America	Timber
<i>Albizia guachapele</i> (Kunth) Dug.	Mimosaceae	C. America	Timber
<i>Prosopis juliflora</i> (Swartz) D.C.	Mimosaceae	C. America	Multipurpose
<i>Acacia tortilis</i> (Forsk.) Hayne	Mimosaceae	W. and E. Africa	Multipurpose
<i>Terminalia spinosa</i> Engl.	Combretaceae	E. Africa	Multipurpose
<i>Terminalia brownii</i> Fresen	Combretaceae	E. Africa	Multipurpose

Preparation of cuttings

Cuttings were harvested from seedlings, managed juvenile stockplants or coppice shoots. Depending on the species, 1- to 4-node cuttings were used. These were usually about 50-60mm long and with a leaf area of about 50cm² (Leakey, 1985). In large leaved species, leaf areas were reduced by trimming prior to severance. The basal end of cuttings were dipped briefly in indole-3yl-butyric acid solutions (0.2-0.4% IBA in industrial methylated spirit) to a depth of about 2-5mm, and the alcohol then rapidly evaporated off in a stream of cold air from a fan (Leakey *et al.* 1982, Leakey, 1989). To minimise stress, the cuttings were inserted in the propagator as soon as they were dry. Alternatively, commercial auxin-based rooting powders "Strike" and "Seradix 2" (May & Baker Ltd) were used.

The non-mist propagator

The propagator design currently in use is based on that of Howland (1975), modified by Leakey and Longman (1988) and now further modified so that it does not require daily watering (Fig. 1). Basically, a wooden or metal frame is enclosed in clear polythene so that the base is water-tight (Leakey, 1989). The frame also provides support for the enclosed volume of water. The polythene base of the propagator is covered in a thin

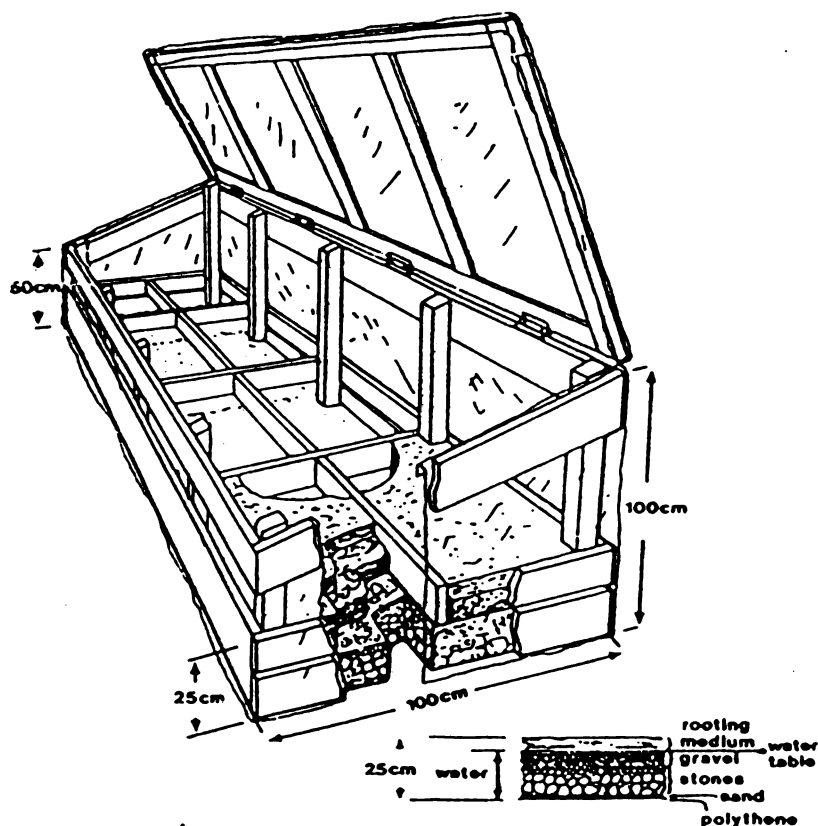


Figure 1. The design of ITE's improved non-mist propagator.

layer of sand to prevent the polythene from being punctured by the large stones (6 - 10 cm) which are placed on it to a depth of 10-15 cm. These stones are then covered by successive layers of small stones (3 - 6 cm) and gravel (0.5 - 1.0 cm) to a total depth of 20 cm. The gravel provides support for the rooting medium which is the uppermost layer, while the spaces between the stones are filled with water. A length of hollow bamboo provides an open cylinder inserted into the medium and stones which is used both to observe the water level and to add water if necessary. The rest of the frame is covered tightly with a single piece of clear polythene, and a closely-fitting lid is attached. Internal supports to the frame at the level of rooting medium also provide subdivisions allowing the independent use of different rooting media (Fig. 1). As a result of the studies reported here, further refinements to the design of non mist propagators are discussed later. A similar frame to that of the non-mist propagator, with roll-up polythene sides, can be used, as in Costa Rica, as a weaning area.

Results

The propagator environment

In tests run in ITE glasshouses, in which air temperatures were maintained at about 20°C, temperatures in non-mist propagators rose to a mid-day peak of about 34°C during bright, sunny, mid-summer weather (eg 28th July). This rise in temperature was associated with a decrease in relative humidity from about 95% to about 75% (Fig. 2).

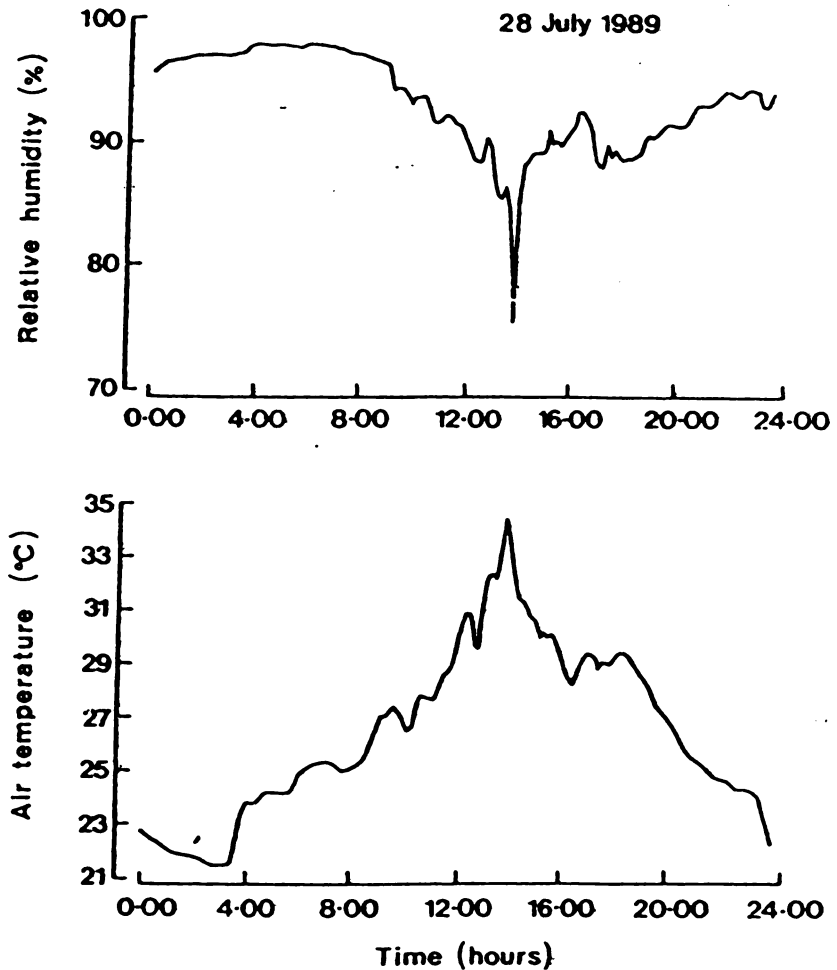


Figure 2. Effects of a rise in air temperature on the relative humidity inside a non-mist propagator.

This represents a substantial increase in the saturation vapour pressure deficit (SVPD) of the air from 0.02 kPa to 1.37 kPa. An important decrease in relative humidity also occurred when the propagator was opened for five minutes at midday (Fig. 3). In this instance, relative humidity decreased by about 40–50% to glasshouse ambient within two minutes, representing an increase in evaporation rate of approximately $\times 4.5$ (SVPD = 0.45 kPa to 2.08 kPa). Relative humidity increased rapidly again following closure of the lid. Decreases in air temperature to ambient were also associated with this period

of opening. Subsequent gains in the temperature resulted from closing the propagator, but the response time for temperature was considerably slower than for relative humidity.

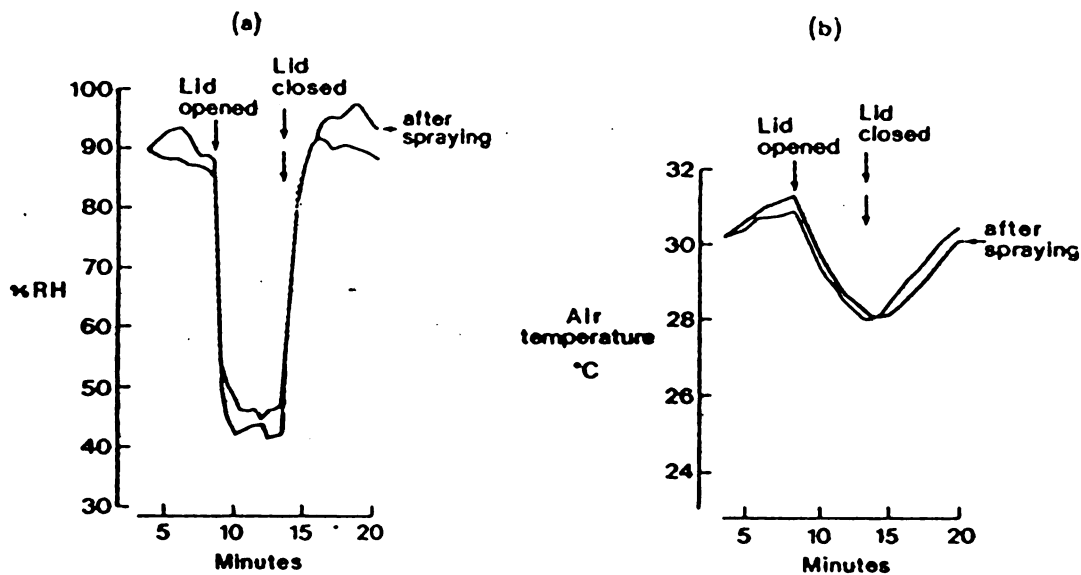


Figure 3. Effects of opening the lid of a non-mist propagator on its: a) relative humidity and b) air temperature.

When the easy-to-root species *Nauclea diderrichii* (Leakey, in press) was used for physiological studies in a non-mist propagator at Edinburgh University (Matin, 1989), it was found that cuttings had maximum rates of photosynthesis that were typical of intact plants, up to $6 \mu \text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ at an irradiance of $1000 \mu \text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. However, the photosynthetic capacity of these cuttings was influenced by changes in the CO_2 concentration inside the propagator. In the middle of the day, the CO_2 concentration fell to $150 \mu \text{mol mol}^{-1}$, while by midnight it rose to $550 \mu \text{mol mol}^{-1}$, reflecting daytime assimilation and night-time respiration, respectively.

As regards rooting media, the water-holding capacity of a fine-gravel (2–3mm diameter) medium was considerably increased, at the expense of the volume of the air spaces (Fig. 4), by the addition of rotted sawdust (50% by volume).

Rooting tests

In Costa Rica, studies using five tree species investigated the effects of four different rooting media (i) gravel, (ii) 50:50 gravel with sawdust, (iii) fine sand and (iv) 50:50 fine sand and sawdust. Each medium was tested with cuttings dipped in a range of IBA concentrations (0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4 and 0.8%). There were, however, substantial differences between species with regard to rooting success on the different media. Single-node juvenile cuttings of all five species rooted well (70–95%) on their best medium (Fig. 5). *Cordia alliodora* rooted best in fine sand, with or without sawdust,

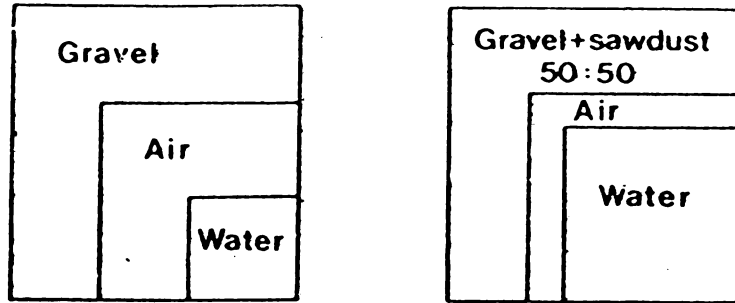


Figure 4. Relative composition by volume of a gravel rooting medium with and without sawdust.

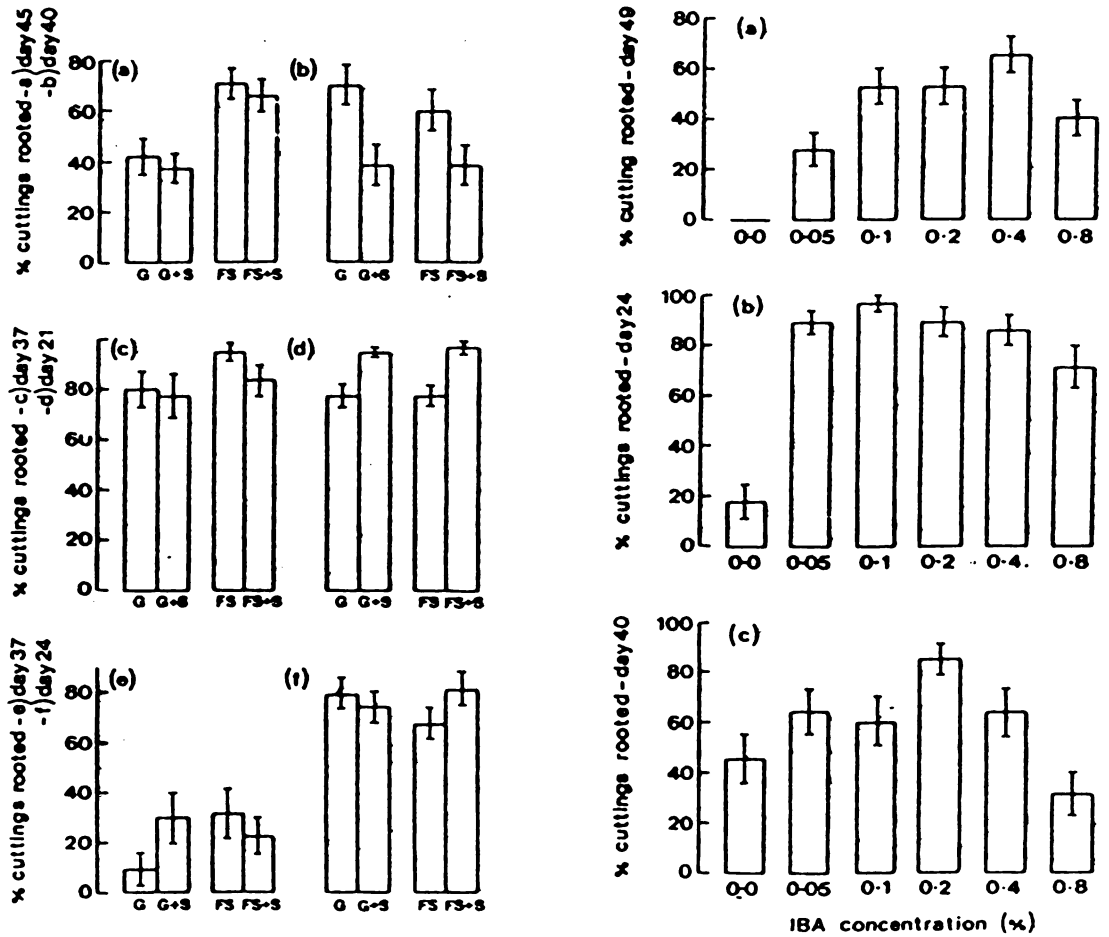


Figure 5. Effects of rooting medium (G = gravel, FS = fine sand and S = sawdust) on the rooting of leafy stem cuttings of (a) *Cordia alliodora*, (b) *Vochysia hondurensis*, (c) *Gmelina arborea* (juvenile), (d) *Eucalyptus deglupta*, (e) *Gmelina arborea* (mature), and (f) *Albizia guachapele*.

Figure 6. Effects of IBA concentrations on the rooting of leafy stem cuttings of (a) *Cordia alliodora* (b) *Albizia guachapele* and (c) *Vochysia hondurensis* in a non-mist propagator.

while rooting of *Vochysia hondurensis* cuttings was detrimentally affected by the incorporation of sawdust into both gravel and fine sand. On the other hand, sawdust enhanced the rooting of *Eucalyptus deglupta* cuttings in both gravel and sand, while *Gmelina arborea* and *Albizia guachapele* rooted well in all media. Unlike these juvenile cuttings, mature cuttings from vigorous shoots in a heavily pruned crown of *G. arborea* rooted much less well (Fig. 5c) especially in pure gravel. In juvenile *G. arborea*, a comparison between cuttings set in fine sand under an intermittent mist propagator and the non-mist propagator, showed better rooting in the non-mist propagator.

C. alliodora, *A. guachapele* and *V. hondurensis* differed in their responses to the range of IBA concentrations (0 to 0.8%). Optimal concentrations would appear to be 0.4, 0.1 and 0.2% IBA respectively for the three species (Fig. 6). In addition *C. alliodora* did not root at all without applied auxins, while rooting in untreated *V. hondurensis* cuttings exceeded 40%. Cuttings of *A. guachapele* were very responsive to all auxin treatments.

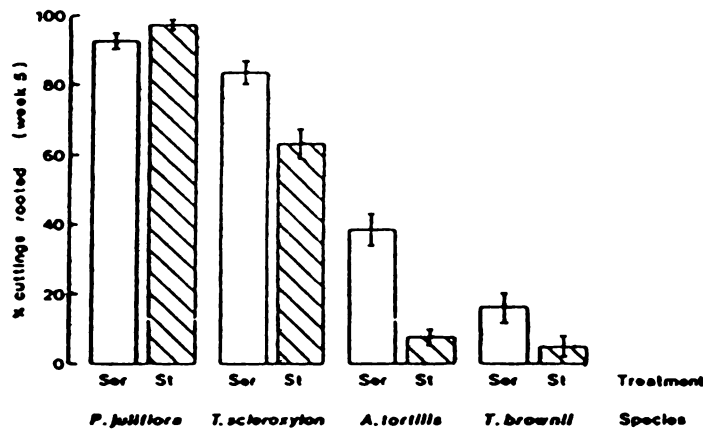


Figure 7. Percentage of cuttings of *Prosopis juliflora*, *Terminalia spinosa*, *Acacia tortilis* and *Terminalia brownii* rooted in a non-mist propagator when treated with commercial rooting powders (Ser = "Seradix 2", St = "Strike").

Studies using non-mist propagators in Edinburgh and in Kenya, with tree species from semi-arid areas, investigated the relative merits of two commercially available rooting powders: (i) "Strike" = 0.25% NAA, and (ii) "Seradix 2" = 0.8% IBA. Seradix-treated cuttings of *Acacia tortilis*, *Terminalia spinosa* and *Terminalia brownii*, rooted better than those treated with Strike, while for *Prosopis juliflora*, rooting percentages were above 90% with both treatments (Fig. 7).

Two-node cuttings of *P. juliflora* also rooted relatively easily without applied auxins, although IBA solutions (0.4-0.8%) did hasten rooting and increase the numbers of roots formed. Long cuttings tended to root better than short ones, although there was no relationship between cutting length and its position of origin on the stockplant. Cuttings from lower on a stem generally rooted better than apical ones. An experiment comparing rooting under mist, with rooting in a non-mist propagator, clearly demonstrated the advantages of conditions without mist (Fig. 8). A third treatment in which a mist propagator was enclosed in polythene, resulted in even less rooting and higher mortalities due to rotting. When non-mist propagators have been used in Kenya to produce clonal material of *P. juliflora* for field experiments, the success rate was greater than 75%.

Like those of *P. juliflora*, cuttings of *A. tortilis* and *T. spinosa* are also much more easily rooted in the high humidity conditions of a non-mist propagator. There is, however, very considerable clonal variation in rooting ability in these species, and cuttings of *T. brownii* have so far only been rooted with a low rate of success.

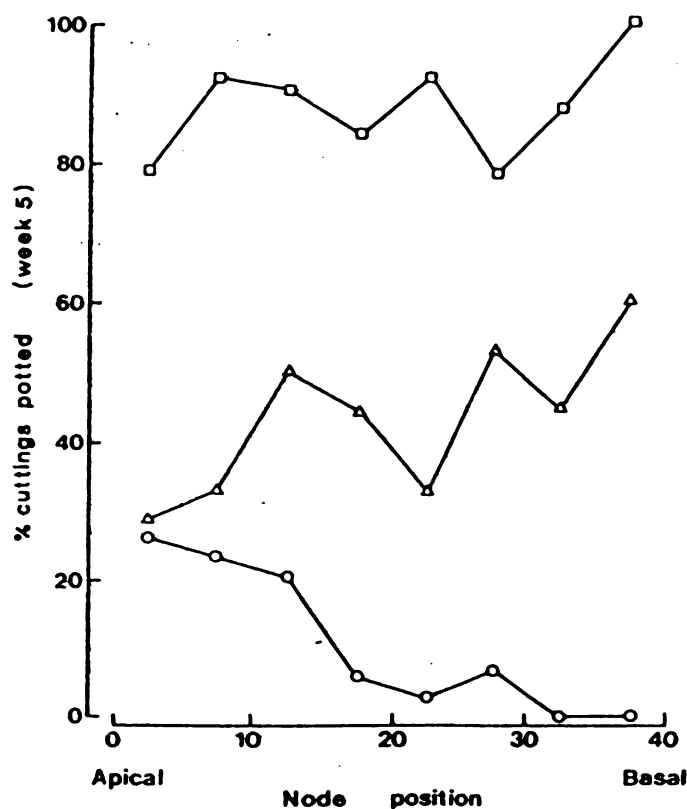


Figure 8. Effects of node position on the percentage of 2-node *Prosopis juliflora* cuttings rooted under three propagation environments (\square = non mist, \circ = enclosed mist, \triangle = open mist).

In Cameroon, the percentage rooting of cuttings of *Lovoa trichiloides* was relatively poor (c. 40-50%), and, in addition, the results were frequently unexpected. For example, no beneficial effects on rooting were found following the application of NAA or a range of IBA concentrations (0-200 $\mu\text{g}/\text{cutting}$), either in terms of the percentage of cuttings rooted or the of roots per cutting. Furthermore, the optimum leaf area seemed to be very high at about 200 cm^2 per cutting (Tchoundjeu, 1989).

When the rooting of cuttings of *Ricnodendron heudelotii* was tested both under mist and in non-mist propagators with 'Seradix 2', rooting by day 21 was best without mist (75% v 50% under mist).

Discussion

While there are reports of cuttings of *Prosopis*, *Gmelina* and *Eucalyptus* species being rooted (Felker and Clark, 1981; Sim and Jones, 1987; Delwaulle, 1983; Delwaulle *et al.*,

1983), there are apparently none on the other species tested here. *Terminalia spinosa*, *Terminalia brownii*, *Vochysia hondurensis*, *Albizia guachapele* and *Ricinodendron heudelotii* may not have been previously tested, while for example, a number of previous attempts to root *Cordia alliodora* have failed (Dyson, 1981). *Acacia* spp. of semi-arid/arid areas of Africa also have the reputation of being difficult-to-root (Roche *et al.* 1989). The 'low-tech', non-mist propagators described here therefore seem to provide a very practical solution to the problem of how a wide range of tropical tree species can be propagated vegetatively. The advantage of these propagators seems to be particularly great for the dry-zone species which can be very susceptible to rotting under mist. While it is clear that the environment within the non-mist propagator fluctuates considerably over the day in response to variations in ambient temperature and incident radiation, it is also clear that, by being enclosed and continuously moist, the cuttings are not subjected to the extremes of saturation and water stress that can occur when misting frequency is poorly matched to changes in the weather.

An improvement which might further stabilise relative humidity in the non-mist propagator would be to construct the lid in several sections. Then the whole propagator would not have to be opened to access the cuttings. Ideally, the propagators are opened as little as possible and especially not during the heat of the day. When propagators are opened the cuttings should be sprayed frequently with a fine spray of water from a hand-held or knapsack sprayer. During bright sunny weather, shading is essential and spraying is highly desirable to prevent low relative humidity developing at mid-day (see Fig. 2). Attention to these points of detail are likely to be particularly important when propagators are used in hot, sunny and dry areas.

The reasons why the rooting of cuttings of different species have slightly different requirements with respect to propagation media, and auxin concentration, is unknown. Studies are in progress at the Institute of Terrestrial Ecology and are aimed at the identification of fundamental principles determining rooting ability in a range of tropical tree species. In this regard it appears that stockplant light/nutrient interactions prior to severance are important (Leakey and Coutts, 1989; Leakey and Storeton-West, in preparation) affecting the subsequent capacity of unrooted cuttings to photosynthesise. This photosynthesis could also be limited to low daytime CO₂ concentrations in the propagator. Thus it may be necessary in future to enhance CO₂ diffusion into the propagators.

REFERENCES

- BAILEY, N.T.J. (1959). *Statistical Methods in Biology*, English Universities Press, London, p24.
- DELWAULLE, J.C. (1983). Création et multiplication végétative par bouturage d'*Eucalyptus* hybrides en République Populaire du Congo, *Silvicultura*, 8: 775 - 778.
- DELWAULLE, J.C., LAPLACE, Y. & QUILLET, G. (1983). Production massive de boutures d'*Eucalyptus* en République Populaire du Congo, *Silvicultura*, 8: 779 - 781.
- DYSON, W.G. (1981). *Report (1980) to ODA of the UK Government*, London, 16pp.
- FEELKER, P. & CLARK, P.R. (1981). Rooting of Mesquite (*Prosopis*) cuttings, *Journal of Range Management*, 34: 466 - 468.
- HOWLAND, P. (1975). Vegetative propagation methods for *Triplochiton scleroxylon* K. Schum., *Proceedings of the Symposium on Variation and Breeding Systems of Triplochiton scleroxylon* K. Schum., Federal Department of Forest Research, Ibadan, Nigeria, 21 - 28 April 1975, 99 - 109.

- LEAKEY, R.R.B. (1983). Stockplant factors affecting root initiation in cuttings of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum., an indigenous hardwood of West Africa, *Journal of Horticultural Science*, 58: 277 – 290.
- LEAKEY, R.R.B. (1985). The capacity for vegetative propagation in trees. In: *Attributes of Trees as Crop Plants*, Eds. Cannell, M.G.R. and Jackson, J.E., 110–133, Institute of Terrestrial Ecology, Abbots Ripton, Huntingdon, England.
- LEAKEY, R.R.B. (1987). Clonal forestry in the tropics — a review of developments, strategies and opportunities, *Commonwealth Forestry Review*, 66: 61 – 75.
- LEAKEY, R.R.B. (1989). Vegetative propagation methods for tropical trees: rooting leafy softwood cuttings, In: *Agroforestry and Mycorrhizal Research for Semi-arid lands of East Africa Workshop*, National Museums of Kenya, Sept. 1989, 26 – 64, Institute of Terrestrial Ecology, Bush Estate, Penicuik, EH26 0QB, Scotland, UK.
- LEAKEY, R.R.B. (In press). *Nauclea diderrichii*: rooting stem cuttings, clonal variation in shoot dominance and branch plagiotropism, *Trees*: LEAKEY, R.R.B. and LONGMAN, K.A. (1988). Low-tech cloning of tropical trees, *Appropriate Technology*, 15: 6.
- LEAKEY, R.R.B. and COUTTS, M.P. (1989). The dynamics of rooting in *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. cuttings - their relationship to leaf area, node position, dry weight accumulation, leaf water potential and carbohydrate composition. *Tree Physiology*, 5: 135–146.
- LEAKEY, R.R.B. and STORETON-WEST, R. (In prep). Stockplant illumination, photosynthesis and the rooting ability of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. cuttings: the effects of irradiance, light quality and their interactions with nutrients, *Tree Physiology*.
- LEAKEY, R.R.B., CHAPMAN, V.R. and LONGMAN, K.A. (1982). Physiological studies for tropical tree improvement and conservation. Some factors affecting root initiation in cuttings of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum., *Forest Ecology and Management*, 4: 53 – 66.
- LOACH, K. (1977). Leaf water potential and the rooting of cuttings under mist and polythene. *Physiologia Plantarum*, 40: 191 – 197.
- MATIN, M.A. (1989). Carbon economy during rooting of cutting of *Nauclea diderrichii* (De Wild & Th. Dur.) Merrill. M.Phil Thesis, University of Edinburgh, pp 123.
- ROCHE, L.A., WYN JONES, R.G. and RETALLICK, S.J. (1989). A comparative study in Africa of agroforestry trees on vertisolic soils under low rainfall. *Annual Progress Report to ODA 1988-89, Project R4181*, University College of North Wales, 13pp.
- SIM, B.L. & JONES, N. (1985). Improvement of *Gmelina arborea* in "Sabah Softwoods" plantations. In: *Provenance and Genetic Improvement Strategies in Tropical Forest Trees*. (Eds: R.D. Barnes & G.L. Gibson), Commonwealth Forestry Institute, Oxford, UK and Forest Research Centre, Harare, Zimbabwe, 604 – 609.
- TCHOUNDJEU, Z. (1989). Vegetative propagation of the tropical hardwoods *Khaya ivorensis* A. Chev. and *Lovoa trichiloides* Harms., *Ph.D. thesis, University of Edinburgh*, 270pp.



HACIA EL DESARROLLO DE TECNICAS DE SILVICULTURA CLONAL PARA EL PEQUEÑO FINQUERO

Francisco Mesén ^{1/}
Roger R.B. Leakey ^{2/}
Adrian C. Newton ^{2/}

INTRODUCCION

El interés por la silvicultura clonal (uso de propágulos vegetativos de clones seleccionados para el establecimiento de plantaciones) ha venido en aumento en los últimos años. Las razones de este crecimiento radican en que, con el aumento del conocimiento sobre el tema, es cada vez mayor el número de especies que pueden ser propagadas vegetativamente así como a la concientización acerca de las oportunidades que ofrece la clonación para utilizar y explotar la variabilidad genética directamente (Leakey et al., 1990). Existen varios ejemplos (Aracruz Celulose, Brasil; Centre Technique Forestier Tropical, Congo; Forest Research Institute of Nigeria) donde se han logrado aumentos extraordinarios en la calidad y productividad de las plantaciones, al igual que una reducción del tiempo de rotación, mediante el uso de clones superiores. De este modo, el uso de clones permite eliminar algunos de los problemas biológicos, principalmente en cuanto a producción de semillas, que afectan la reforestación con muchas de las especies tropicales (Leakey, et al, 1982b).

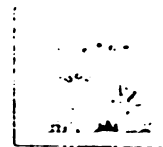
Los mayores avances en la silvicultura clonal se han dado en las grandes compañías reforestadoras, y las técnicas desarrolladas no han estado al alcance de los pequeños grupos rurales en países en desarrollo, que generalmente no cuentan con el capital necesario para hacer grandes inversiones. Es necesario simplificar y abaratar la tecnología para ponerla a disposición del pequeño finquero.

Tradicionalmente se han utilizado varias formas de propagación vegetativa en mejoramiento genético; de ellas las más conocidas son los injertos y los estacones lignificados para el establecimiento de huertos semilleros clonales. Este material fisiológicamente adulto es ideal en estos casos, puesto que reduce el ciclo de producción de semillas y produce árboles bajos, de copas amplias, que facilitan la recolección de las mismas. Por el contrario, la propagación vegetativa para el establecimiento de plantaciones, requiere del uso de material fisiológicamente juvenil, el cual dará origen a árboles de crecimiento ortotrópico normal, adecuados para la producción de madera. A nivel operacional, normalmente se utilizan estacas originadas de rebrotes de tocones, rebrotes basales de árboles en pie o plántulas jóvenes, entre otros. Estas estacas se caracterizan por su tamaño pequeño (generalmente 5-8 cm de longitud y 0,5-0,8 cm de diámetro), condición succulenta y la presencia de hojas.

Numerosos factores anatómicos, fisiológicos y ambientales afectan el enraizamiento de estacas (Hartmann y Kester, 1968). Todos ellos deben ser optimizados para un enraizamiento exitoso (Leakey y Mesén, 1991a); sin embargo, la minimización del estrés hídrico en las estacas es considerado como el punto fundamental en el proceso (Loach, 1988). El efecto más inmediato del estrés hídrico es el cierre de los estomas, lo que a su vez restringe la fotosíntesis y la producción consecuente de carbohidratos, el crecimiento y la división celular y la translocación de metabolitos a los primordios radicales en desarrollo. Es probable que el estrés hídrico también reduzca el suministro de cofactores, los cuales sinergizan con las auxinas en la formación de raíces adventicias (Loach, 1988).

Existen varios sistemas de propagación que logran minimizar el estrés hídrico, usualmente basados en aspersión automática o nebulizadores. Sin embargo, es posible lograr la propagación exitosa con sistemas más simples y económicos, inclusive en condiciones de ausencia de electricidad y agua de cañería. El Proyecto Mejoramiento Genético Forestal-PMGF del CATIE, en cooperación con el Instituto de Ecología Terrestre-ITE de Escocia, ha adaptado y utilizado con éxito un propagador de sub-

1/ Lider. Proyecto Mejoramiento Genético Forestal-PMGF/CATIE, Turrialba, Costa Rica.
2/ Lider y Oficial de Investigación, respectivamente, Tropical Forestry and Mycorrhiza Group, Institute of Terrestrial Ecology-ITE, Edinburgo, Escocia, Reino Unido



irrigación, basado en un diseño utilizado para la propagación de latifoliadas tropicales (Leakey, Chapman y Longman, 1982). El trabajo del PMGF en este campo se ha enfocado al desarrollo de las técnicas óptimas de propagación, incluyendo estudios fisiológicos antes y durante la propagación, así como al desarrollo de técnicas de selección clonal temprana. Como resultado de esto, se han identificado los requisitos básicos para el enraizamiento de varias especies y se han desarrollado sistemas simples de manejo y propagación del material, que puedan ser adoptados a nivel operacional por pequeños grupos de desarrollo rural.

Este artículo describe los avances logrados hasta la fecha en este campo, para varias especies forestales.

MATERIALES Y METODOS

Los estudios presentados en este trabajo, se llevaron a cabo tanto en invernaderos de ambiente tropical en el ITE, Escocia, como en el vivero del PMGF en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. Se han realizado trabajos con las siguientes especies:

- Albizia guachapele* (guayaquil, careto real)
- Bombacopsis quinala* (pochote, cedro espino)
- Cordia alliodora* (laurel)
- Eucalyptus deglupta* (deglupta)
- Gmelina arborea* (melina)
- Swietenia macrophylla* (caoba)
- Vochysta hondurensis* (chancho blanco, San Juan)

El material vegetativo utilizado consistió en estacas juveniles con hoja, de 5 cm de longitud, obtenidas de rebrotes de setos manejados o de plántulas.

En todos los casos la hormona utilizada fue el ácido indol-3-butírico disuelto en metanol, aplicado a la base de las estacas mediante inmersión rápida (2 segundos) en la solución o con microjeringa de 10 µl, con evaporación inmediata del metanol en una corriente de aire frío (ver Leakey et al., 1982a). El segundo sistema se utilizó en los ensayos de dosis de auxina, puesto que permite un control exacto de

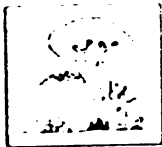
la cantidad y la concentración aplicada a todas las estacas, independientemente de las variaciones en el diámetro de las mismas, su pubescencia, el grado de transpiración, etc.

Durante los ensayos se utilizó un microprocesador Campbell 21 X (Campbell Scientific Ltd., Leicester, Reino Unido), para el registro de las condiciones ambientales, con mediciones permanentes a intervalos de 15 minutos. Para las mediciones de tasas de fotosíntesis y conductividad estomática se utilizó un analizador de gas infrarrojo tipo LCA-3 (ADC Ltd., Hoddesdon, Reino Unido), conectado a una cámara foliar Parkinson, mediante la cual se realiza la medición basada en una área foliar estándar de 6,25 cm². Durante las mediciones, se extrajo la estaca del medio y la base de la misma se mantuvo sumergida en agua. El uso de este equipo permite identificar los requerimientos básicos de las especies para diseñar entonces sistemas simples de fácil aplicación práctica.

Para todos los ensayos se utilizó un diseño de bloques completos al azar con arreglos factoriales, con un número variable de repeticiones para lograr un mínimo de 40 estacas por combinación. El error estándar de los porcentajes de enraizamiento se calculó mediante la fórmula de Bailey (1959) para datos con distribución binomial, o mediante la prueba de t, según se indique, ambos con una probabilidad del 5%. Para datos de número de raíces por estaca, se determinó el error estándar del promedio.

El propagador de sub-irrigación

El propagador utilizado (Fig. 1) está basado en un diseño realizado por Howland (1975), modificado por Leakey y Longman (1988), con nuevas modificaciones realizadas a la luz de las experiencias en el CATIE (Leakey et al., 1990). Para su construcción se utiliza un marco de madera o metal forrado con un plástico resistente, para la retención del agua y la conservación de humedad. En el fondo del propagador se coloca una capa fina de arena de 1-2 cm (para prevenir la ruptura del plástico) y una capa de piedras gruesas de 6-10 cm (diámetro) hasta una altura de 10-15 cm. Las



EL CHASQUI

pedras se cubren con una capa de grava hasta una altura de 20 cm. Finalmente se coloca la última capa de 5 cm de espesor, compuesta por el sustrato a utilizar, y se adiciona agua hasta una altura de 20 cm (hasta la base del sustrato). Para observar el nivel de agua o para adicionar más agua si es necesario, se utiliza un pequeño cilindro (plástico, bambú, etc) insertado verticalmente a través de las diferentes capas. El marco se cubre con una tapa, también forrada de plástico, que ajuste lo mejor posible para evitar la pérdida de humedad. Varias divisiones internas proporcionan soporte adicional al marco, y a la vez permiten la evaluación de sustratos diferentes dentro del mismo propagador (Fig. 1).

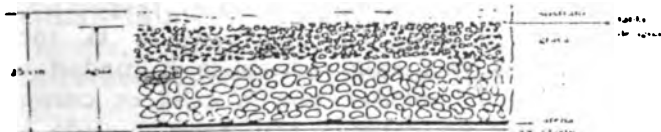
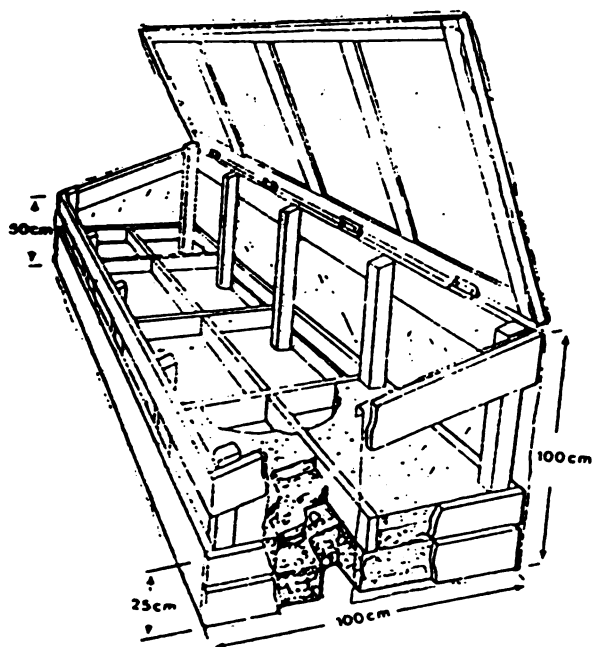


Fig. 1. El propagador de sub-irrigación.

RESULTADOS

El ambiente de enraizamiento

La efectividad del propagador de sub-irrigación parece radicar en su capacidad de minimizar el estrés hídrico, protegiendo a las estacas de las fuertes variaciones ambientales externas, experimentadas bajo condiciones normales en los trópicos. La Figura 2 ilustra las variaciones típicas en humedad relativa (HR) para un periodo de cuatro días (25-28 de octubre, 1991) bajo las condiciones de Turrialba; mientras la humedad relativa externa fluctuó entre 75 y 100%, la humedad relativa dentro del propagador se mantuvo en el rango 85-100%.

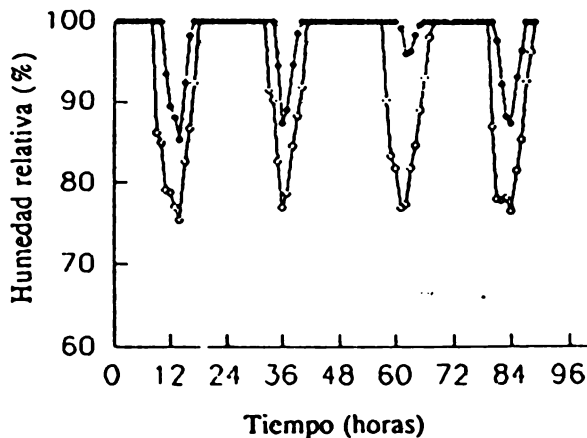


Fig. 2. Variaciones típicas en la humedad relativa externa (o) y dentro del propagador de sub-irrigación (●) para un periodo de cuatro días en Turrialba, Costa Rica.

Esta menor variación en la HR tiene influencia directa sobre las estacas, que logran mantener una condición de turgencia a lo largo del periodo de enraizamiento. El contenido relativo de agua (una medida del grado de turgencia de las hojas) (Beadle *et al.*, 1987), se evaluó, para estacas de *C. alliodora* a lo largo de seis semanas y varió típicamente entre 75 y 95% (Mesen, 1991), lo cual reafirma los efectos



benéficos sobre las estacas, del ambiente de alta humedad relativa dentro del propagador. El mantenimiento de la turgencia es crítico durante las primeras semanas, cuando las estacas aún no han desarrollado raíces que puedan compensar grandes pérdidas de agua por transpiración.

Las variaciones en humedad relativa están asociadas a variaciones en irradiación (y su efecto sobre la temperatura); los aumentos en la irradiación van seguidos de disminuciones en la humedad relativa. El ámbito de irradiación que reciben las estacas puede ser controlado mediante el uso de sombra. En Turrialba, bajo condiciones de plena exposición, la irradiación puede alcanzar valores superiores a 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en días soleados, mientras que mediante el uso de sombra (p.ej: una capa de sarán, hojas de palma, etc.) la irradiación se mantiene normalmente por debajo de los 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Fig. 3). Por lo tanto, el uso de sombra durante la propagación es benéfico, al aumentar la humedad relativa dentro del propagador y reducir la tasa de transpiración de las estacas.

Sin embargo, la reducción en la irradiación no debe ser excesiva, por la reducción consecuente en la tasa fotosintética de las estacas y en la cantidad de metabolitos disponibles para la formación de raíces. El rango de irradiación óptima varía con las especies. En *C. alliodora*, por ejemplo, se han encontrado tasas altas de fotosíntesis (4-5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) dentro del propagador, a irradiaciones cercanas a los 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Fig. 4), similares a las informadas para esta misma especie por Ramos y Grace (1990). Esto significa que el permitir irradiaciones mayores no va a aumentar la tasa fotosintética de las estacas, pero si aumenta la temperatura dentro del propagador, se reduce la humedad relativa y en consecuencia, aumenta la pérdida de agua por transpiración.

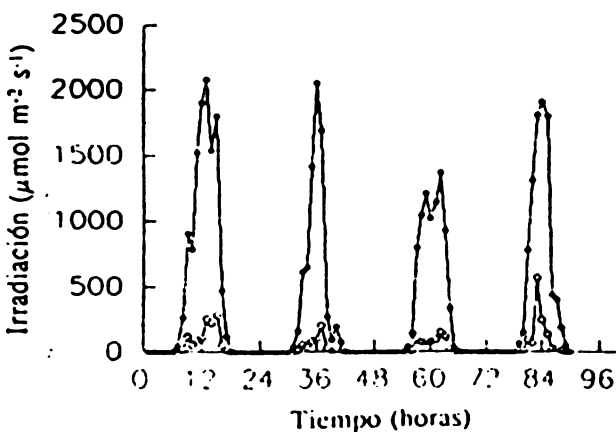


Fig. 3. Variaciones típicas en irradiación dentro de un propagador a plena exposición (●) y un propagador bajo sombra de sarán (○), en Turrialba, Costa Rica.

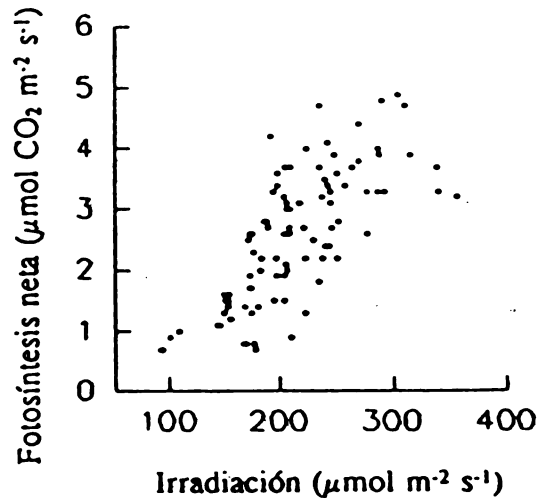


Fig. 4. Curvas fotosintéticas de respuesta a la luz para estacas no enraizadas de *C. alliodora* en propagadores de sub-irradiación, a los 21 días del establecimiento.

Bajo condiciones tropicales, el propagador de sub-irradiación también mantiene las temperaturas del aire y del sustrato dentro del rango normal para el enraizamiento de especies forestales (20-35 °C y 18-30 °C, respectivamente. Ver Fig. 5). La apertura de la tapa del propagador puede reducir la humedad relativa dentro del mismo, por lo cual es conveniente asperjar las estacas con agua cuando la tapa deba mantenerse abierta.

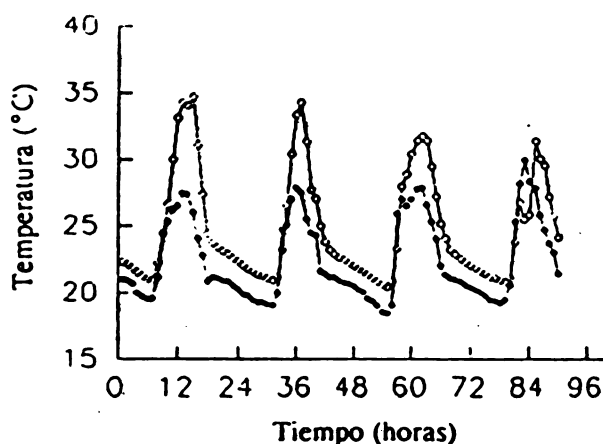


Fig. 5. Variaciones típicas en las temperaturas del aire (o) y del sustrato (e) en propagadores de sub-irrigación bajo sombra de sarán en Turrialba, Costa Rica.

Ensayos de enraizamiento

Sustratos de enraizamiento

Siguiendo la misma filosofía de simplicidad y economía en el sistema de propagación, la investigación en este aspecto se ha basado en el uso de sustratos de bajo costo y fácil adquisición, tales como arena, grava y aserrín. Si bien otros sustratos (vermiculita, perlita, turba, etc.) se mencionan normalmente en la literatura como medios efectivos para el enraizamiento de estacas (ver Hartmann y Kester, 1968), los costos de importación pueden resultar prohibitivos para la mayoría de los proyectos de desarrollo rural. La efectividad de un medio de enraizamiento, radica en su capacidad de retener agua, pero con aireación adecuada, proveer soporte adecuado a las estacas, sin impedimentos para el crecimiento radical y encontrarse libre de patógenos (o permitir una desinfección adecuada) (Hartmann y Kester, 1968), todo lo cual se logra con los sustratos utilizados en estos estudios.

En los ensayos del PMGF se han encontrado diferencias sustanciales entre especies en su capacidad de enraizamiento en diferentes

sustratos. *C. arborea* ha enraizado mejor en arena que en grava o en las mezclas de estas con aserrín (Fig. 6a), mientras que arena fue el peor sustrato para *A. guachapele* (Fig. 6b). *C. alliodora* enraizó mejor en arena y en la mezcla arena-aserrín (1:1 p/v) (Fig. 6c), mientras que *V. hondurensis* enraizó bien en arena o en las mezclas con aserrín (Fig. 6d). La adición de aserrín a la arena y a la grava mejoró el enraizamiento de *E. deglupta* (Fig. 6e), y fue, el aserrín junto con la arena, el mejor sustrato para *B. quinata* (Fig. 6f). Con *S. macrophylla* se probaron varias combinaciones arena:grava y se obtuvo el mejor enraizamiento en sustratos con contenidos de arena del 50% o mayores (Fig. 7).

La razón de las "preferencias" de diferentes especies por diferentes sustratos no se conoce aún y probablemente estén relacionadas con la composición relativa (sólidos:agua:aire) de los sustratos, la cual presenta variaciones considerables (Fig. 8).

Concentración de AIB

Aunque el ácido indol-3-acético (AIA) es la auxina natural que se encuentra en las plantas, dos compuestos relacionados, el ácido indol-3-butírico (AIB) y el ácido α -naftalenacético (ANA) han sido utilizados con éxito en la promoción del enraizamiento de la mayoría de las especies forestales informadas en la literatura. De estos, el AIB es generalmente más efectivo, tiene las ventajas de ser más fotoestable que el AIA y, al ser insoluble en agua, se mantiene por más tiempo en el sitio de aplicación y mantiene su efectividad por periodos más largos (Hartmann y Kester, 1968). Además, las plantas poseen mecanismos que reducen y/o nulifican el AIA, ya sea conjugándolo con otros compuestos o destruyéndolo, no así con el AIB (Gaspar y Hofinger, 1988). Por su parte, el ANA con frecuencia presenta problemas de toxicidad.

El efecto de las auxinas en la promoción del enraizamiento ha sido reconocido por muchos años y documentado en cientos de artículos (ver por ejemplo, Hartmann y Kester, 1968; Blazich, 1988). Sin embargo, no se conoce con exactitud su papel en el proceso. Además de los efectos directos de las auxinas sobre la división celular,

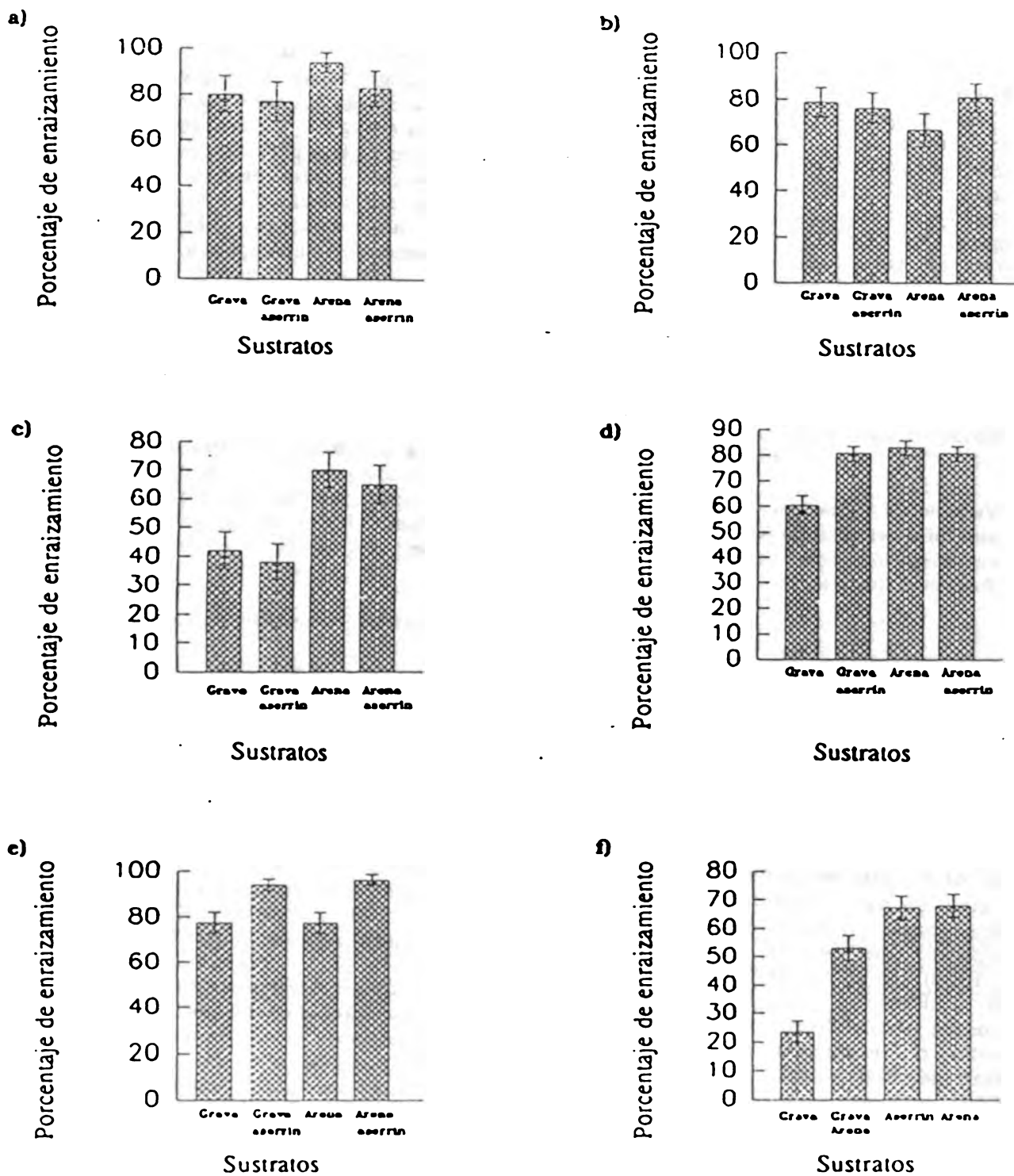


Fig. 6. Efecto del sustrato en propagadores de sub-irrigación sobre el enraizamiento de estacas de a) *G. arborea* a los 37 días; b) *A. guachapele* a los 24 días; c) *C. alliodora* a los 45 días; d) *V. hondurensis* a los 63 días; e) *E. deglupta* a los 21 días; f) *B. quinata* a los 63 días en propagadores de sub-irrigación. Barras = error estándar.



EL CHASQUI

sus efectos benéficos han sido asociados con un aumento en la tasa de transporte de carbohidratos y cofactores foliares a la base de las estacas, donde promueven la iniciación y desarrollo de las raíces (Haissig, 1974); actualmente está bien establecido que los metabolitos y otros factores de crecimiento se translocan hacia regiones tratadas con auxina (Phillips, 1969; 1975). Bajo condiciones de baja actividad fotosintética, el transporte y/o la síntesis de auxinas pueden verse reducidos; por lo tanto, la fotosíntesis también puede afectar indirectamente el enraizamiento, al afectar el suministro de auxinas a la base de la estaca (Davis, 1988). Otro efecto de las auxinas, asociado con la formación de raíces, es su capacidad de estimular la síntesis de ADN en ciertas células (Gaspar y Hofinger, 1988). El efecto de las auxinas sobre la formación de raíces adventicias es probablemente el resultado de la interacción de estos y posiblemente otros procesos.

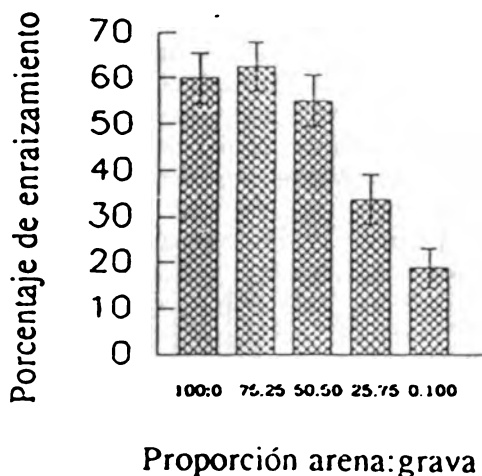


Fig. 7. Efecto de diferentes combinaciones de arena y grava en el sustrato sobre el enraizamiento de estacas de *S. macrophylla* a los 77 días en propagadores de sub-irrigación. Barras = error estándar.

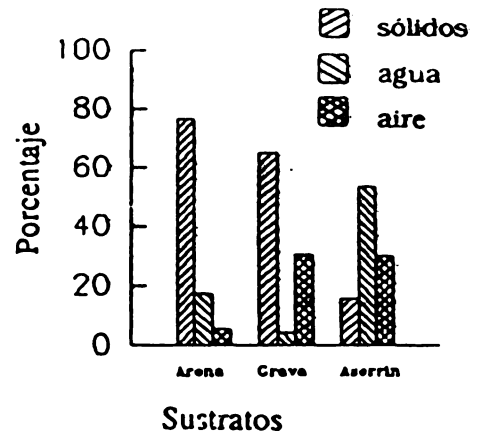


Fig. 8. Proporción relativa por volumen de sólidos, agua y aire de tres de los sustratos utilizados comúnmente en los estudios de enraizamiento.

Tomando en cuenta lo anterior, no es sorprendente encontrar grandes variaciones entre especies en cuanto a sus respuestas a diferentes concentraciones de AIB. *V. hondurensis* es un caso interesante por cuanto presentó el mayor porcentaje de enraizamiento sin aplicación de AIB (Fig. 9a); sin embargo, el sistema radical formado mejoró con concentraciones crecientes de AIB (Fig. 9b), por lo cual se sugiere utilizar la concentración de 0,2%. Por el contrario, tanto *A. guachapele* (Fig. 9c) como *C. allodora* (Fig. 9d) mostraron un enraizamiento muy pobre en ausencia de AIB y enraizaron mejor con las concentraciones de 0,1 y 1,6% respectivamente. La concentración de 0,2% presentó los mejores resultados en *B. quatrata* (Fig. 9e) y *S. macrophylla* (Fig. 9f). No se han realizado ensayos de concentración de AIB para *E. deglupta*; sin embargo, en el ensayo de sustratos (Fig. 6e) se utilizó una concentración estándar de 0,2%, lográndose un enraizamiento promedio de 90%.

Area foliar

En estacas suculentas es bien conocido el efecto benéfico de las hojas sobre el enraizamiento, el cual ha sido asociado con la actividad fotosintética y el suministro de metabolitos a los primordios radicales en

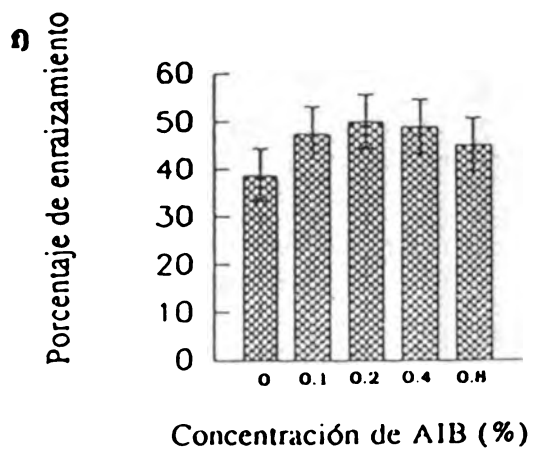
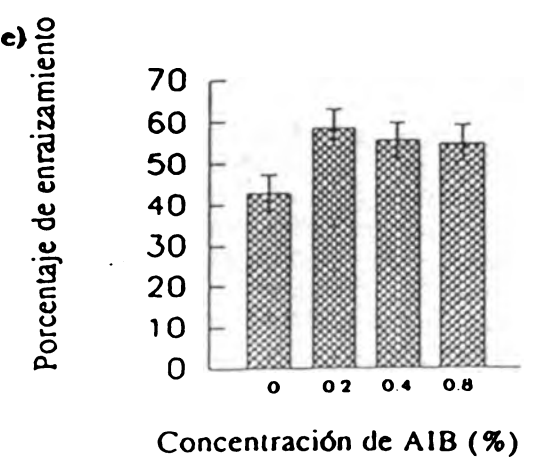
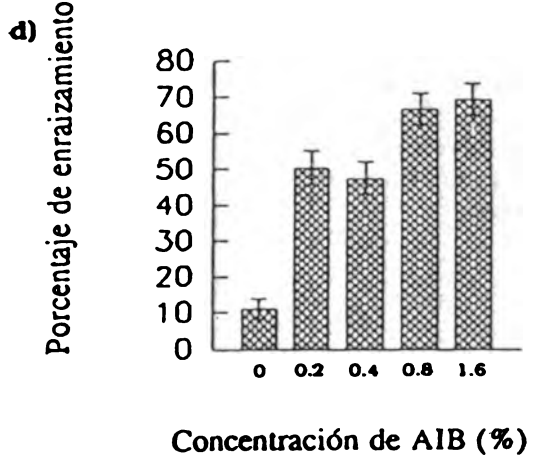
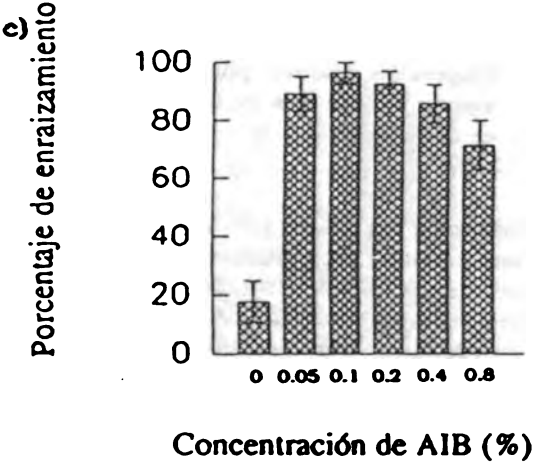
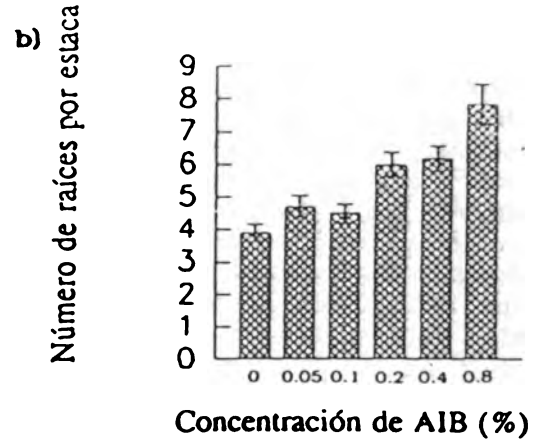
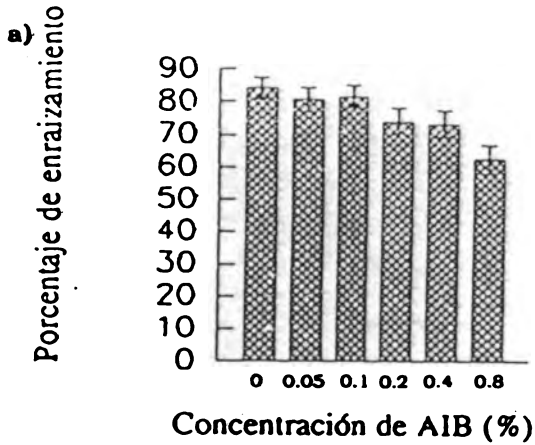


Fig. 9. Efecto de la concentración de AIB sobre a) el porcentaje de enraizamiento y b) el número promedio de raíces en estacas de *V. hondurensis* a los 60 días; el porcentaje de enraizamiento de estacas de c) *A. guachapele* a los 24 días; d) *C. alliodora* a los 40 días; e) *B. quinata* a los 63 días; f) *S. macrophylla* a los 77 días en propagadores de sub-irrigación. Barras = error estándar.

desarrollo (Hartmann y Kester, 1968). Otras sustancias producidas en las hojas, llamadas en términos genéricos cofactores foliares, también experimentan un transporte basipeto en las estacas y permiten o estimulan la iniciación y desarrollo de los primordios radicales (Haiszig, 1974; Hartmann y Kester, 1968). El tipo y cantidad de cofactores, en realidad, parece determinar parcialmente que las estacas inicien la producción de raíces con facilidad, con dificultad o que no las produzcan del todo (Haiszig, 1974).

No todos los efectos de las hojas son benéficos, puesto que la pérdida de agua por transpiración puede causar problemas de desecación en las estacas (Leakey, 1985), algunas veces a un grado tal que sobreviene la muerte de las mismas (Hartmann y Kester, 1968). La pérdida de agua también causa una reducción en la fotosíntesis debida al cierre de estomas (Loach, 1988). La práctica común de reducir el área foliar de la estaca pretende minimizar la pérdida de agua por transpiración, pero a la vez permitir la fotosíntesis durante el periodo de enraizamiento. En estacas catalogadas como "difíciles de enraizar", la obtención de este balance parece ser crítico y en realidad puede determinar el éxito o el fracaso de la propagación (Leakey, 1985).

Para la mayoría de las especies incluidas en este trabajo se ha utilizado un área foliar de 30 cm² con buenos resultados. Con *V. hondurensis*, sin embargo, se obtuvo el mejor porcentaje de enraizamiento con un área foliar de 60 cm² (Fig. 10). *C. alliodora*, por su parte, presentó una interacción interesante entre área foliar e irradiación, cuando se probaron dos rangos de irradiación máxima (100 y 1300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y tres áreas foliares (10, 20 y 30 cm²). En el tratamiento de mayor irradiación, el área foliar de 10 cm² presentó el mayor porcentaje de enraizamiento (75%), mientras que a baja irradiación, las estacas con la misma área foliar presentaron el menor enraizamiento. No hubo diferencias entre tratamientos de irradiación para las demás áreas foliares (Fig. 11). Esto parece apoyar la necesidad de lograr un balance óptimo entre fotosíntesis y transpiración en las estacas. Con irradiaciones bajas es de esperar que no haya problemas de pérdida de agua por transpiración, pero el área de 10 cm² tal vez fue insuficiente para una fotosíntesis adecuada.

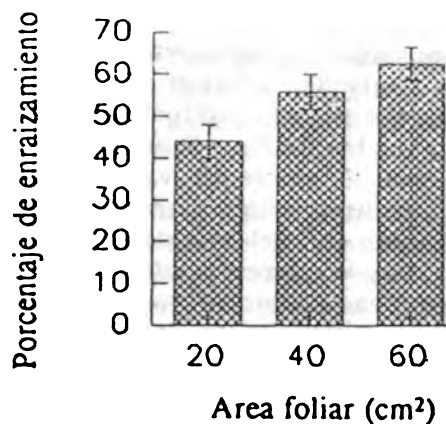


Fig. 10. Efecto de tres áreas foliares sobre el enraizamiento de estacas de *V. hondurensis* después de 81 días en propagadores de sub-irrigación. Barras = error estándar.

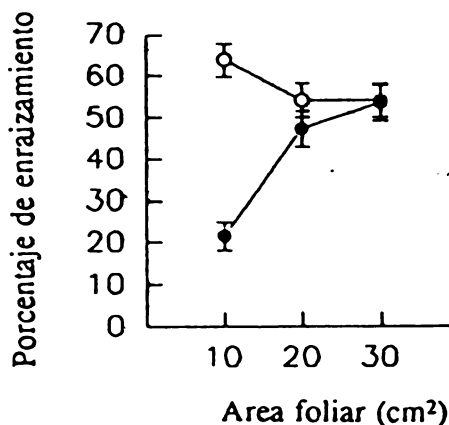


Fig. 11. Efectos del área foliar sobre el enraizamiento de estacas de *C. alliodora* en propagadores bajo irradiaciones máximas de 2100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (o) y 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (●) después de 42 días en propagadores de sub-irrigación. Barras = t (DMS) 0,05.

Por otro lado, en el propagador a plena exposición, es probable que la reducción en el porcentaje de enraizamiento en las estacas con áreas foliares mayores, estuviera asociado con una mayor pérdida de agua por las hojas.



DISCUSION

La propagación vegetativa de clones seleccionados permite obtener las mayores ganancias genéticas en productividad en el menor tiempo posible (Libby y Rauter, 1984). Es así mismo, una herramienta valiosa para la conservación, multiplicación y aprovechamiento de germoplasma en peligro de extinción y permite eliminar la dependencia del uso de semillas, cuyo abastecimiento es una limitante seria en muchas latifoliadas tropicales. Los técnicos forestales conocen muy bien el problema de producción de semilla de buena calidad de *B. quinata*, por ejemplo, o la imposibilidad de almacenar semilla de *Vochysia* spp., especies que pueden ser propagadas sin dificultad mediante el uso de estacas enraizadas. Si bien existe una vasta literatura sobre la propagación de especies como *E. grandis*, *Triplochiton scleroxylon* y otras, los trabajos del PMGF y el ITE están generando los primeros informes sobre la propagación exitosa de la mayoría de las especies nativas de América Central incluidas en este artículo. Así mismo, estos trabajos demuestran la factibilidad de implementar la silvicultura clonal a nivel del pequeño productor. El sistema de propagación de sub-irrigación descrito aquí puede proporcionar una solución práctica para la propagación de una gran variedad de especies forestales, aún en condiciones rústicas y de falta de capital, como las que enfrentan la mayoría de los programas pequeños de desarrollo rural.

Existe una serie de riesgos que se asocian normalmente a la silvicultura clonal, como los problemas asociados con la producción de sistemas radicales pobres y la creación de grandes áreas genéticamente homogéneas susceptibles a epidemias. El primer problema se puede eliminar completamente mediante el manejo adecuado del material por enraizar y la selección cuidadosa del material por plantar, como ha sido demostrado en los programas más avanzados de silvicultura clonal mencionados al inicio del documento. El segundo problema, por su parte, no es exclusivo de la silvicultura clonal e incluso, al existir conciencia de los riesgos, es más fácil evitarlos mediante el control cuidadoso del "pedigrí" y el uso de sistemas silviculturales apropiados. Hay que recordar que el uso de semillas *per se* no garantiza heterogeneidad

genética; es común observar grandes plantaciones originadas de semilla de uno o pocos árboles madres, donde todos los individuos están genéticamente relacionados, o el uso continuo por años, de semilla originada de una pequeña área sembrera. Sin embargo, nadie parece preocuparse demasiado por este hecho, debido a la falsa seguridad que brinda el uso de semilla, sin importar su origen ni su grado de consanguinidad. Es claro que un manejo irresponsable de la silvicultura clonal puede llevar a problemas serios de homogeneidad genética, en su caso más extremo, mediante el uso exclusivo en grandes áreas de un "super clon". Es por esto que es vital adoptar estrategias adecuadas que minimicen los riesgos. La discusión de este tipo de estrategias merece un artículo separado; basta indicar que el PMGF está trabajando en el desarrollo de estrategias apropiadas y ya se han producido algunos lineamientos básicos (Leakey y Mesén, 1991b).

Mediante el uso de los propagadores de sub-irrigación, se pueden esperar porcentajes de enraizamientos entre 70 y 100% para las especies descritas, utilizando el sustrato y la concentración de AIB indicada en cada caso. El preparado comercial "Seradix", basado en el AIB, es igualmente efectivo para la mayoría de las especies y puede utilizarse cuando no sea posible adquirir el AIB en forma pura. Algunos aspectos adicionales que deben ser considerados son los siguientes: i) las estacas deben estar sanas y vigorosas, provenientes de tallos ortotrópicos juveniles de plántulas, rebrotes de tocones o setos manejados; la técnica puede no ser exitosa si se utiliza material fisiológicamente adulto; ii) en el caso de los rebrotes de tocones o setos manejados, es recomendable realizar cosechas periódicas antes de que los rebrotes crezcan demasiado, para evitar la lignificación excesiva en las estacas; una altura del rebrote de 50 cm se considera apropiada para la mayoría de las especies, con lo cual se obtienen 6-10 estacas por rebrote; iii) es importante proteger los propagadores de la luz directa del sol, mediante el uso de sarán, hojas de palma, etc.; iv) el proceso de propagación, desde la colecta de las estacas hasta su inserción en los propagadores debe realizarse en el menor tiempo posible, y en todo momento las estacas deben



EL CHASQUI

mantenerse húmedas y frescas para evitar su desecación; v) cuando las raíces alcancen 1 cm de longitud se puede iniciar el trasplante de las estacas, evitando que las raíces se encurven hacia arriba; vi) hay que recordar que las nuevas plantas vienen de un ambiente de alta humedad, y un cambio demasiado brusco puede provocar su desecación y muerte. Es necesario trasladar las plantas a un ambiente húmedo y fresco durante las primeras tres a cuatro semanas para permitir su endurecimiento. A partir de este momento, el material puede manejarse mediante los métodos tradicionales de vivero.

El método de propagación descrito aquí ha sido probado con éxito en más de 100 especies de diferentes ecosistemas y que tienen una gama amplia de usos (Leakey et al., 1982a). Si bien

cada especie tiene sus requerimientos particulares en cuanto a concentración de auxina, sustratos, tipo y tamaño de estaca, etc., el sistema básico descrito proporciona un buen punto de partida para enfrentar la propagación de especies nuevas.

Los estudios fisiológicos con algunas de las especies proporcionan cada vez más información sobre el proceso de enraizamiento, y sobre los factores de mayor importancia práctica. El conocimiento científico de estos factores proporciona la base para diseñar sistemas de manejo simples y de fácil aplicación. Este conocimiento es de gran importancia ante el aumento creciente en el uso de clones superiores para la reforestación operacional.

LITERATURA CITADA

- BAILEY, N.T.J. 1959. *Statistical methods in Biology*. Londres, G.B., English Universities Press. p. 24.
- BEADLE, C.L.; LUDLOW, M.M.; HONEYSETT, J.L. 1987. Water relations. *In Techniques in bioproductivity and photosynthesis*. Ed. by J. Coombs; D.O. Hall; S.P. Long; M.O. Scurlock. 2 ed. Oxford, G.B., Pergamon Press. p. 50-61.
- BLAZICH, F.A. 1988. Chemicals and formulations used to promote adventitious rooting. *In Adventitious root formation in cuttings*. Ed. by T.D. Davis; B.E. Haissig; N.B. Sankhla. Portland, Or., EE.UU., Disocorides Press. p. 132-149.
- DAVIS, T. 1988. Photosynthesis during adventitious rooting. *In Adventitious root formation in cuttings*. Ed. by T.D. Davis; B.E. Haissig; N.B. Sankhla. Portland, Or., EE.UU., Disocorides Press. p. 79-87.
- GASPAR, T.; HOFINGER, M. 1988. Auxin metabolism during adventitious rooting. *In Adventitious root formation in cuttings*. Ed. by T.D. Davis; B.E. Haissig; N.B. Sankhla. Portland, Or., EE.UU., Disocorides Press. p. 117-131.
- HAISSIG, B.E. 1974. Influences of auxin and auxin synergists on adventitious root primordium initiation and development. *New Zealand Journal of Forestry Science (N.Z.)* 4(2):311-323.
- HARTMANN, H.T.; KESTER, D.E. 1968. *Plant propagation, principles and practices*. 2 ed. Englewood Cliffs, N.J., EE.UU., Prentice Hall. 702 p.
- HOWLAND, P. 1975. Vegetative propagation methods for *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. *In Symposium on Variation and Breeding Systems of Triplochiton scleroxylon* K. Schum (1975, Ibadan, Nigeria). Proceedings. Ibadan, Nigeria, Federal Department of Forest Research. p. 99-109.

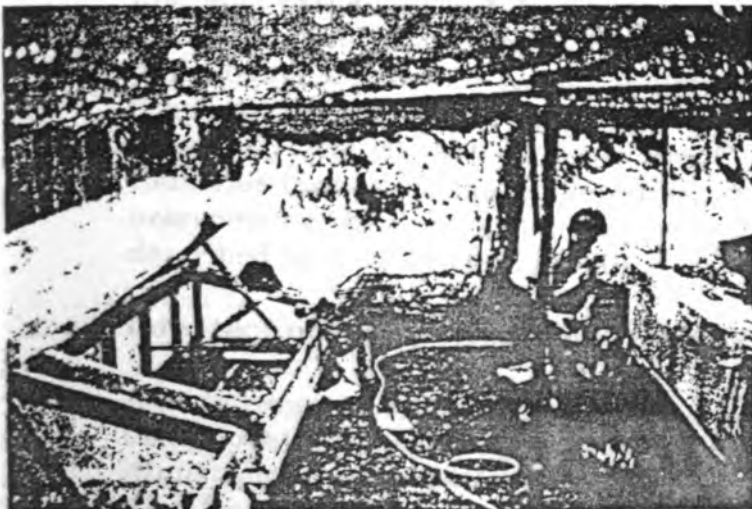
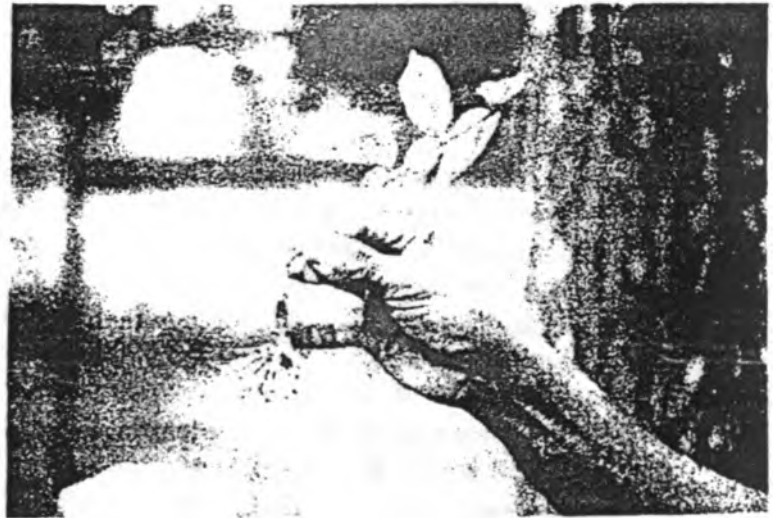


EL CHASQUI



Las estacas de *C. alliodora* son evaluadas durante el proceso de propagación para determinar el potencial hidrico de las estacas y su relación con la capacidad final de enraizamiento.

Numerosas especies, como *C. odorata* son fácilmente enraizadas mediante estacas juveniles en los propagadores de sub-irrigación.



Los propagadores de sub-irrigación pueden ser establecidos en condiciones rústicas, lo que permite su transferencia inmediata a finqueros o programas pequeños de desarrollo rural.

LOW TECHNOLOGY VEGETATIVE PROPAGATION OF TROPICAL TREES: EXPERIENCE FROM CENTRAL AMERICA

J. F. Mesén¹, A. C. Newton² and R. R. B. Leakey².

1. Tree Improvement Project, Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza (CATIE), Turrialba 7170, Costa Rica

2. Institute of Terrestrial Ecology (ITE)*, Bush Estate, Penicuik, Midlothian, Scotland. EH26 OQB *A component of the Edinburgh Centre for Tropical Forests

Abstract.

Leafy stem cuttings of a number of Central American tree species, including *Albizia guachepele*, *Bombacopsis quinata*, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Swietenia macrophylla* and *Vochysia hondurensis* have been successfully rooted in low-technology polythene propagators in Costa Rica. These propagators are cheap and easy to construct, and do not require piped water or an electrical supply. They are therefore particularly applicable to rural development situations. Experimental results are presented indicating the effect of different treatments applied to the cuttings, including the amount of applied IBA, the rooting medium and the propagation environment.

Introduction.

In Central America deforestation is continuing at a high rate. The urgent need for large scale reforestation efforts throughout the region has been evident for some time (Flores, 1985) but it has only been undertaken on a significant scale during the past decade (Hartshorn, 1982). Many recent attempts at reforestation have failed, partly because of the use of genetically inappropriate sources of planting material (Mesén *et al.*, 1992b). To address this problem, the CATIE Tree Improvement Project has been active in the genetic improvement of agroforestry and traditional timber species, since its inception in 1977. The activities of the Project have primarily involved seed collection, and the establishment of progeny and provenance tests of the selected species. However, in recent years the Project has become involved in the development and application of vegetative propagation techniques aimed at the establishment of clonal plantations. The advantages of vegetative propagation and clonal selection for rapidly increasing the yield and quality of forest products are now widely appreciated (Leakey, 1987; Libby and Rauter, 1984). However, most clonal techniques are not available to farmers in developing countries because of the expensive equipment required. This obstacle has been overcome by the development of low technology propagation techniques as described by Leakey *et al.* (1990).

Low-technology propagation techniques

A wide range of tropical tree species have now been successfully propagated using low-technology propagation techniques, including *Albizia guachepele*, *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Eucalyptus deglupta*, *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla* and *Vochysia*

hondurensis (Leakey *et al.*, 1990; Leakey *et al.*, 1992; Mesén *et al.*, 1992a). A number of these species had not been propagated before, or were previously thought to be difficult-to-root. Although this research has been based in Costa Rica, the techniques are currently being introduced to other tree improvement groups in Central America through a series of annual workshops held at CATIE.

(i) *Preparation of cuttings*

Cuttings were initially harvested from seedlings obtained from 'plus' tree seed collections from locations throughout Central America. Rooted cuttings were then established in clonal gardens and managed as coppiced stockplants, to stimulate the production of vigorous, orthotropic shoots. Shoots were usually harvested every three months, each providing 6-10 single-node, leafy stem cuttings. These were usually 5-6 cm long, with the leaf area trimmed to around 30 cm². Shoots were harvested during the coolest time of the day and transported to the propagation area in containers with water. Auxins such as indole-3-butyric acid (IBA) were generally applied to the base of the cuttings prior to insertion in the propagator, either in methanol solution or in powder form (e.g. commercial rooting powders such as "Strike" or "Seradix"; c.f. Leakey *et al.*, 1990). The cuttings were then inserted into the propagation medium to a depth of 15-25 mm.

(ii) *The non-mist propagator*

In all Central American countries, the high capital and running costs of currently available mist propagation systems makes them inappropriate for use in rural situations. Therefore, the project concentrated on the use of lower cost, simpler techniques, using the non-mist propagator developed by ITE (Leakey and Longman, 1988; Leakey *et al.*, 1990; Mesén *et al.*, 1992a). This design does not require an electrical supply or piped water, and is therefore particularly suitable to rural tropical areas.

The non-mist propagator is a wooden or metal frame enclosed in polythene so that the base is water tight. The polythene base is covered in a thin layer of sand, then successive layers of large stones (6 - 10 cm in diameter to a depth of 10-15 cm), small stones (3-6 cm) and gravel (0.5-1.0 cm) to a total depth of 20 cm. The rooting medium forms the uppermost layer, and may consist of sawdust, sand or fine gravel in various mixtures. Water is added to the propagator up to the base of the rooting medium, which is kept moist by capillarity. The rest of the frame is covered with a single piece of clear polythene, and a closely-fitting lid is attached. To maintain high humidities inside the propagator, the lid should only be opened when it is necessary to inspect the cuttings (Newton and Jones, 1992a).

(iii) *The propagator environment*

The effectiveness of the non-mist propagator lies in its capacity to maintain high relative humidities and low vapour pressure deficits (VPD's), even at relatively high irradiances, thereby maintaining leaf turgor in the cuttings (Newton and Jones 1992a,b). In leafy stem cuttings of *C. alliodora*, for example, the relative water content of the leaves varied between 75 and 95%

during a six week period in the propagator, which was associated with rooting percentages above 80% by the end of this period (Mesén, 1991).

VPD and irradiance are positively correlated in nin-mist propagators (Newton and Jones, 1992a). At CATIE, irradiance can be in excess of 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on a clear day, which can cause an unwanted increase in VPD inside the propagator. Therefore shading is usually necessary, and can be provided by materials such as plastic netting or palm foliage. The reduction in irradiance should not be excessive, however, as rooting is often dependent on photosynthesis during propagation (see later).

Experimental results

(i) Rooting medium

Substantial differences have been identified between species with regard to rooting medium (Table 1). The reasons for these differences are not well understood, but may be related to the relative composition (solids: air: water) of the media (Loach, 1988). The media utilized incorporated local and easily available substrates, following the same principles of simplicity and economy of the propagator.

Table 1. Summary of results obtained in Costa Rica on the optimum substrate requirements for the rooting of leafy stem cuttings of the project species.

Species	Rooting medium	Average rooting percentage
<i>A. guachapele</i>	Gravel, gravel + sawdust*	80-90%
<i>A. acuminata</i>	Sand	60-80%
<i>B. quinata</i>	Sand, sawdust	70-80%
<i>C. alliodora</i>	Sand, sand + sawdust*	60-90%
<i>V. hondurensis</i>	Sand, sand + sawdust*, gravel + sawdust*	80-90%

*50/50 by volume

(ii) Auxin concentration

Applied auxins hasten root emergence, and increase the percentage of cuttings which form roots, the number and quality of roots produced per cutting, and the uniformity of rooting (Hartmann and Kester, 1983). However, the exact role of auxins in stimulating adventitious root formation remains unclear. Optimum auxin concentration varies greatly between species, as the result of variation in concentrations of endogenous auxins, rooting co-factors and inhibitors etc. (Leahey, 1985).

In experiments undertaken at CATIE, IBA was applied to the clean cut base of the cuttings in 10 μl of methanol solution using a micrometer syringe. This allowed the application of a standard quantity of solution to every cutting. The alcohol was evaporated off in a stream of cold air before inserting the cuttings in the propagator (see Leahey *et al.*, 1982). Concentrations of 0, 0.05, 0.2, 0.4, 0.8 and 1.6 % IBA were generally tested (Table 2).

Contrary to all other species, *V. hondurensis* displayed the highest rooting percentages when no auxin was applied. However, the number of roots per rooted cutting increased with successive increases in auxin concentration, from three with 0% IBA to eight with 0.8% IBA. The concentration of 0.2% provided the most appropriate balance between rooting percentage and root system quality (Mesén *et al.*, 1992a; Table 2). The time of first occurrence of root emergence also varied between species, from three weeks for *A. guachapele* and *B. quinata* to around five for *V. hondurensis*. For all the species, no further rooting occurred beyond eleven weeks.

Table 2. Summary of results obtained in Costa Rica on optimum IBA concentration for the rooting of leafy stem cuttings of the project species.

Species	IBA concentration (%)	Average rooting percentage
<i>A. guachapele</i>	0.05-0.4	90-100%
<i>A. acuminata</i>	0.2	60-80%
<i>B. quinata</i>	0.2	60-80%
<i>C. alliodora</i>	0.8-1.6	60-90%
<i>V. hondurensis</i>	0.2	80-90%

(iii) *The physiological activity of cuttings during propagation*

Treatments such as applied IBA and rooting medium affect rooting by influencing physiological processes in the cuttings. Measurements of physiological activity are crucial for the understanding of how these processes interact, and for the determination of optimum treatments for rooting (Newton *et al.*, 1992). A detailed programme of such measurements has now been completed at CATIE, as reported elsewhere (Mesén *et al.*, 1992a). Particular attention has been devoted to measurements of gas exchange in cuttings. In *C. alliodora* cuttings, rates of net photosynthesis of 4-5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ were recorded at irradiances of around 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ prior to root formation (Mesén *et al.*, 1992a). Results suggest that pre- and post-severance treatments should be adopted which optimise photosynthetic rates, as rooting of leafy stem cuttings is often dependent on photosynthesis during the propagation period (Newton *et al.*, 1992).

Conclusions

The CATIE Tree Improvement Project, with close collaboration of ITE, has demonstrated that clonal propagation can be adopted by small scale rural development programmes, by using low-cost, simple propagation techniques. The project produced the first reports of successful rooting for *Albizia guachapele*, *Alnus acuminata*, *Cordia alliodora* and *Vochysia hondurensis*, some of which had the reputation of being difficult-to-root. The non-mist propagators described here have been found effective for the propagation of a wide range of species from a range of different ecosystems. These techniques will enable the selection and use of genetically superior clones for use in forestry and agroforestry, both on small farms and industrial plantations.

The approach adopted by this project, combining traditional improvement techniques, such as provenance/progeny tests, with low-cost and easily transferred cloning methods, offers excellent prospects for the conservation and commercial use of high genetic quality germplasm of valuable native species. By offering improved planting alternatives to the landowner, reforestation can be stimulated, and this in turn will open new possibilities to counter further destruction of the forest genetic resources of the Central American region.

Acknowledgements

The CATIE Tree Improvement Project is funded by the Department for Development Cooperation (DDC), Norway and the Overseas Development Administration (ODA), U.K. The CATIE/ITE link project is funded by the ODA, U.K.

Literature cited

- Flores, R. J. 1985. Diagnostico del sector forestal. San José, Costa Rica. EUNED. 116p.
- Hartmann, H.T. & Kester, D.E. 1983. Plant propagation, principles and practices. 3rd ed. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall. 702 p.
- Hartshorn, G. S. 1982. Costa Rica: Country environmental profile; a field study. tropical Science Centre/AID. San José, Costa Rica. 123p.
- Leakey, R.R.B. 1985. The capacity for vegetative propagation in trees. *In* Attributes of Trees as Crop Plants. (Eds. Cannell, M.G.R. and Jackson, J.). Institute of Terrestrial Ecology, Monks Wood, Huntingdon, England. pp. 110-133.
- Leakey, R.R.B. 1987. Clonal forestry in the tropics - a review of developments, strategies and opportunities. *Commonwealth Forestry Review*, U.K. 66: 61-75.
- Leakey, R.R.B., Chapman, V.R. & Longman, K.A. 1982. Physiological studies for tropical tree improvement and conservation. Factors affecting root initiation in cuttings of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. *Forest Ecology and Management*, 4:53-66.
- Leakey, R.R.B. & Longman, K.A. 1988. Low-tech cloning of tropical trees. *Appropriate technology*, 15:6.
- Leakey, R.R.B., Mesén, J.F., Tchoundjeu, Z., Longman, K.A., Dick, J. McP., Newton, A.C. *et al.* 1990. Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review*, U.K. 69(3): 247-257.
- Leakey, R. R. B., Newton, A. C. & Dick, J. Mc. P. 1992. Capture of genetic resources by vegetative propagation: processes determining success. *In: Tropical trees: Potential for Domestication.* (Eds Leakey, R. R. B. & Newton, A. C.) H.M.S.O., London.
- Libby, W. J. & Rauter, R. M. 1987. Advantages of clonal forestry. *The Forestry Chronicle*, 145-149.
- Loach, K. 1988. Controlling environmental conditions to improve adventitious rooting. *In: Adventitious root formation in cuttings* (Ed. by T. D. Davis, B. E. Haissig and N. Sankhla) pp. 248 - 273. Dioscorides Press, Oregon.
- Mesén, J.F. 1991. Physiology of rooting and clonal selection of *Albizia guachapele* (Kunt) Dug. and *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken. First year report to the University of Edinburgh/Institute of Terrestrial Ecology, Edinburgh, Scotland. February, 1991. (Unpublished).
- Mesén, J.F., Leakey, R.R.B. & Newton, A.C. 1992a. Hacia el desarrollo de técnicas de silvicultura clonal para el pequeño finquero. *El Chasqui*, Costa Rica, 28: 6-18
- Mesén, J. F., Boshier, D. H., Cornelius, J. P. & Newton, A. C. 1992b. Genetic improvement of trees in Central America. with particular reference to Costa Rica. *In: Tropical trees: Potential for Domestication.* (Eds Leakey, R. R. B. & Newton, A. C.) H.M.S.O., London. In press.
- Newton, A. C., Mesén, J. F., Dick, J. McP. & Leakey, R. R. B. 1992. Low technology propagation of tropical trees: rooting physiology and its practical implications. *In: Proceedings of IUFRO Symposium on the Mass Propagation of Trees. Bordeaux, France, September 1992.* In press.
- Newton, A. C. & Jones, A. C. 1992a. Comparison of microclimate in mist and non-mist propagation systems. *Journal of Horticultural Science.* In press.
- Newton, A. C. & Jones, A. C. 1992b. The water status of leafy cuttings of four tropical tree species during propagation. *Journal of Horticultural Science.* In press.

SEED COLLECTIONS AND VEGETATIVE PROPAGATION OF THREATENED MULTIPURPOSE SPECIES IN CENTRAL AMERICA

By Francisco Mesén¹ and William S. Dvorak²

Prepared for the Networking/Workshop Meeting of the Board on Science and Technology for International Development, National Research Council, CATIE, Turrialba, Costa Rica, April 2-9, 1992.

SUMMARY

The tremendous increase in human population in Latin America has resulted in a continually growing demand for agricultural and grazing land and forest products, which in turn has led to an indiscriminate destruction of the forests. The ecological, economic and social problems derived from this are now widely recognised (Agency for International Development, 1989). In Central America alone, 370,000 hectares of forest are cut every year. Reforestation with fast growing multipurpose species can contribute to the solution to this critical problem, by supplying the forest products that the population requires and thus reducing the pressure on the remaining natural forests. However, to be successful, genetically good sources of seeds and other propagative material must be used. Genetically superior germplasm must be identified, conserved and made available to local reforestation projects.

With these objectives in mind, between 1989 and 1991, an AID-funded project was carried out as a joint effort between CAMCORE³ and the CATIE⁴ Tree Improvement Project, with collaboration of ITE⁵ and ODA⁶. The project concentrated on six commercially valuable broadleaved species (*Albizia guachapele*, *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Cordia alliodora*, *Sterculia apetala* and *Vochysia hondurensis*). These species cover a wide range of uses and environments and all have populations suffering genetic erosion. Furthermore, no range-wide gene conservation efforts or genotype evaluation had been conducted before, except for *C. alliodora* at the provenance level (Stead, 1980).

Explorations in isolated regions of Guatemala, Honduras, Costa Rica and Colombia were carried out to identify phenotypically superior trees of various provenances. Seed was subsequently collected, and gene conservation banks and provenance/progeny tests established in various locations in Colombia, Costa Rica and Venezuela to preserve endangered gene pools and identify the most productive genotypes. To maintain the biological diversity of populations, vegetative propagation techniques were developed in Costa Rica for each species, using low-technology, non-mist propagators. These propagators are cheap to construct, are very effective and have no essential requirements for piped water or an electricity supply, which makes them appropriate for small rural development programmes. All the tested species are now routinely propagated with more than 80% success.

1 Leader, Tree Improvement Project, CATIE, Turrialba, Costa Rica

2 Director CAMCORE and Associate Professor of Forestry, North Carolina State University, Raleigh, U.S.A.

3 Central America and Mexico Coniferous Resource Cooperative, North Carolina State University, Raleigh, U.S.A.

4 Centre for Tropical Agricultural Research and Education, Turrialba, Costa Rica

5 Institute of Terrestrial Ecology, Edinburgh, Scotland

6 Overseas Development Administration, U.K.

INTRODUCTION

The indiscriminate destruction of the tropical forests is now widely recognised as a major threat to the survival of mankind. In Central America, the tremendous growth in human population is resulting in a continually increasing demand for agricultural land, grazing land and forest products, which in turn has led to a catastrophic deforestation rate. It is estimated that 370,000 hectares of forest are cut in the region every year (CATIE, 1991).

This situation calls for immediate action. It is necessary to halt uncontrolled deforestation and meet the demand for forest products from sustainable sources. Reforestation with fast growing multipurpose trees has a vital role to play in this process, by providing the forest products that the population requires and therefore, reducing the pressure on the remaining natural forest. Given the land tenure situation in Central America, the majority of reforestation will be by small and medium-size landowners, using multipurpose trees. To be successful, however, genetically good sources of seeds and other propagative material must be used. Experience shows that one of the main reasons for the failure or low productivity exhibited by forest plantations is the use of germplasm of poor genetic quality, which only contributes to discourage reforestation efforts.

A particularly insidious aspect of deforestation is that, through genetic erosion, it itself threatens to reduce the success rate of reforestation. The genetic erosion problem is particularly severe in the dry Pacific region of Central America, where deforestation has been extensive.

In 1989, a joint effort between CAMCORE and the CATIE Tree Improvement Project was initiated through the AID-funded project "Maintaining Biological Diversity of Threatened Multipurpose Species in Central America by Vegetative Propagation". This project addressed these problems by identifying threatened populations of six economically valuable hardwood species in Guatemala, Honduras, Colombia and Costa Rica, collecting seed from phenotypically superior trees and establishing provenance/progeny tests in various locations. At the same time, with collaboration of ITE and ODA, vegetative propagation techniques were developed using juvenile material derived from the selected trees. It is now widely recognised that the most spectacular gains in forestry in recent times have been achieved through the breakthrough in cloning certain species and hybrids of eucalypts (Barnes and Gibson, 1984). However, there is a need to simplify the technology so that vegetative propagation can be used by small rural development programmes, even in the absence of mains electricity and a piped water supply (Leakey *et al.*, 1990). For this reason, vegetative propagation work in this project concentrated in the use of low technology, non-mist propagators, based on the design developed at ITE for the propagation of tropical hardwoods (Leakey and Longman, 1988).

The species selected for the study, *Albizia guachapele*, *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Cordia alliodora*, *Sterculia apetala* and *Vochysia hondurensis*, were chosen because all have populations in danger of extinction or genetic impoverishment and, at the same time, have exhibited commercial potential in CATIE or CAMCORE tests. The species chosen also target a wide range of users and ecological conditions. *A. guachapele*, *B. quinata* and *S. apetala* are low elevation, seasonally dry site species; *C. alliodora* occurs on both dry and wet sites usually below 900 m a.s.l.; *V. hondurensis* is found on wet sites at medium and low elevations and *A. acuminata* is a high elevation species, commonly found above 1400 m a.s.l.

EXPLORATIONS AND SEED COLLECTIONS

Explorations were carried out in Costa Rica, Guatemala, Honduras and Colombia to locate populations of the species and select phenotypically superior trees. This was by far the most labour intensive and time-consuming part of the project, particularly because, due to the nature of the species involved, the trees tend to be widely separated and frequently are located in areas that are not easily accessible. No more than about five phenotypically superior trees were selected per week of constant searching, whilst seed was collected from one to three trees per day, with two to five visits to each tree during the collecting season being necessary in order to complete the quantities required for the tests. Seed collections of *S. apetala* were attempted in two different years without success because the fruits and seeds were destroyed while still immature by heavy insect attack. For this reason, it was not possible to include this species in either the genetic testing programme or the vegetative propagation study. In total, 366 superior trees were identified in 29 provenances of the six species. The selection of phenotypically superior trees was completed by the end of the first year of the project; during the second year, seed collection was carried out from trees which produced little or no seed in the first year. Table 1 shows the total number of trees selected by the project.

Table 1. Summary of phenotypically superior trees selected by the project.

Species	Number of Provenances		Number of trees	
	Costa Rica	Other countries	Costa Rica	Other countries
<i>A. guachapele</i>	2	1 (Honduras)	40	14
<i>A. acuminata</i>	4	1 (Guatemala)	37	15
<i>B. quinata</i>	5	2 (Honduras, Colombia)	97	20
<i>C. alliodora</i>	5	1 (Honduras)	61	12
<i>S. apetala</i>	1	0	9	0
<i>V. hondurensis</i>	5	2 (Guatemala, Honduras)	26	35
Total	22	7	270	96

ESTABLISHMENT OF PROVENANCE/PROGENY TESTS

Following the intensive seed collection during the first year of the project, a large amount of half-sib families were available for trials during the second and third year. Twenty-nine hectares of provenance/progeny trials were established in Colombia, Costa Rica and Venezuela with seed collected by the project (Table 2). In Costa Rica, the genetic tests were established under cooperation agreements with farmers involved in reforestation under the Costa Rican General Forestry Directorate (DGF) incentive scheme or in lands owned by research institutions, thus facilitating the proper maintenance of the trials in the future. In each case, the standard design

recommended by CAMCORE for the international provenance/progeny trials was used, i.e., randomized complete blocks with nine replications and nine plots of six trees per family, keeping together the families of the same provenance.

Table 2. Details of the trials established by the project in Costa Rica

Species	Location	Number of families	Area (ha)
<i>A. guachapele</i>	Lourdes, Guanacaste, Costa Rica	41	2.0
<i>A. guachapele</i>	Huacas, Guanacaste, Costa Rica	20	0.6
<i>A. guachapele</i>	El Hierro, Venezuela*	23	0.7
<i>A. guachapele</i>	Zambrano, Colombia**	11	0.6
<i>A. guachapele</i>	Zambrano, Colombia**	34	1.2
<i>A. acuminata</i>	Santa Cruz, Turrialba, Costa Rica	45	3.0
<i>B. quinata</i>	Nandayure, Guanacaste, Costa Rica	62	3.0
<i>B. quinata</i>	El Hierro, Venezuela*	39	1.9
<i>B. quinata</i>	El Hierro, Venezuela*	62	1.8
<i>B. quinata</i>	Zambrano, Colombia**	62	1.6
<i>C. alliodora</i>	Upala, Alajuela, Costa Rica	69	3.0
<i>C. alliodora</i>	El Toco, Venezuela*	15	0.7
<i>V. hondurensis</i>	OTS, Sarapiquí, Costa Rica	48	3.0
<i>V. hondurensis</i>	DGF, Sarapiquí, Costa Rica	47	3.0
<i>V. hondurensis</i>	CATIE, Turrialba, Costa Rica	47	3.0

* Tests established in Venezuela by Smurfit-Cartón de Venezuela

** Tests established in Colombia by Pizano/Monterrey Forestal

VEGETATIVE PROPAGATION

It is now widely realized that vegetative propagation and clonal selection offer a means to greatly enhance the yield and quality of forest products (Leakey, 1987). The tremendous improvements in productivity and form of clonal eucalypts in Brazil, for example, are well known by foresters. Similar genetic gains may be possible with native broadleaved species.

There are numerous systems used commercially for the propagation of forest species, usually based on mist spraying or fogging. However, in all Central American countries, the high capital and running costs of currently available mist propagation systems makes them inappropriate (Leakey, 1987). Therefore, the project concentrated on the development of lower cost, simpler techniques for the propagation of the species involved. Preliminary results favoured the non-mist propagators, developed by ITE for the propagation of West African hardwoods (Leakey and Longman, 1988). The propagator is based on that of Howland (1975), modified by Leakey and Longman (1988) and now further amended based on experiences at CATIE (Leakey *et al.*, 1990).

The non-mist propagator

The non-mist propagator is a wooden or metal frame enclosed in polythene so that the base is water tight. The polythene base is covered in a thin layer of sand to prevent the polythene from being punctured by the large stones (6-10 cm) which are placed on it to a depth of 10-15 cm. These stones are then covered by a layer of smaller stones or gravel to a total depth of 20 cm. The gravel provides support for the rooting medium which is the uppermost layer. Water is added to the propagator up to the base of the rooting medium, which is kept humid by capillary motion. The rest of the frame is covered tightly with a single piece of clear polythene, and a closely-fitting lid is attached. Preferably, the lid should be constructed in several sections, so that the whole propagator does not have to be opened to access the cuttings. Further details on the design and use of the propagator are given in Leakey *et al.* (1990) and Mesén *et al.*, (in press).

The propagator environment

Numerous factors, anatomical, physiological and environmental, affect root initiation in leafy stem cuttings (Hartmann and Kester, 1968), and all must be optimised for successful rooting (Leakey and Mesén, 1991). However, the minimisation of water stress is considered the key point in the process (Loach, 1988). The effectiveness of the non-mist propagator seems to lay in its capacity to minimise water stress, protecting the cuttings from the strong environmental variations experienced under normal tropical conditions. Whilst external relative humidity may vary between 75 and 100% in a typical bright day, the relative humidity inside the propagator varies between 85 and 100% for the same period (Mesén *et al.*, in press). Maintenance of a high relative humidity within the propagator is critical, especially during the first 2-3 weeks, when the cuttings lack roots and can not compensate the water lost by transpiration. In leafy stem cuttings of *C. alliodora*, for example, the relative water content of the leaves varied between 75 and 95% during a six week period in the propagator, which resulted in rooting percentages above 80% at the end of this period (Mesén, 1991).

Variation in relative humidity is associated with variation in irradiance; an increase in irradiance results in a decrease in relative humidity. In Turrialba, irradiance can easily reach values of $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ or more in a bright day, which can cause an unwanted decrease in relative humidity inside the propagator. Therefore, the use of shade is usually necessary to lower irradiance and reduce transpiration losses. Shade can be provided by using palm leaves or layers of black plastic netting. A single layer of plastic netting reduced irradiance from $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ to values below $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, considered appropriate for rooting (Mesén *et al.*, in press). The reduction in irradiance should not be excessive, however, since rooting of leafy stem cuttings is usually enhanced by photosynthates formed during the propagation period (Davis, 1988; Leakey and Storeton-West, in prep.). The use of a single layer of plastic netting seems to achieve an appropriate balance, since, again in *C. alliodora*, high rates of net photosynthesis ($4-5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) were recorded at irradiances of around $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Mesén *et al.*, in press; Ramos and Grace, 1990).

In Turrialba, the non-mist propagator also maintains air and substrate temperatures within the range recommended for the propagation of tropical species, i.e. 20-35 °C and 18-30 °C, respectively (Mesén *et al.* in press).

Relative humidity within the propagator decreases rapidly to values of around 40-50% if the lid is opened at midday, even for short periods (Leakey *et al.*, 1990). Therefore, handling of cuttings should be avoided during the brightest hours of the day, to avoid stress to the cuttings.

There are also substantial differences between species with regard to rooting medium. The reasons for these 'preferences' are not well understood, but seem to be related with the relative composition (solids:air:water) of the rooting medium. Table 3 shows the rooting medium most appropriate for each species. In this regard, local and easily available substrates were preferred, following the same principles of simplicity and economy of the propagator.

Table 3. Summary of results on substrate requirements for the rooting of leafy stem cuttings of the project species.

Species	Rooting medium	Average rooting percentage
<i>A. guachapele</i>	Gravel, gravel + sawdust*	80-90%
<i>A. acuminata</i>	Sand	60-80%
<i>B. quinata</i>	Sand, sawdust	70-80%
<i>C. alliodora</i>	Sand, sand + sawdust*	60-90%
<i>V. hondurensis</i>	Sand, sand + sawdust*, gravel + sawdust*	80-90%

*50/50 by volume

Preparation of cuttings

One of the main constraints of clonal silviculture is the difficulty of propagating trees mature enough to show their phenotypic worth. Various practices have been used to overcome this problem, for example: i) to fell the tree and utilise the coppice rising from the stump, ii) to stimulate sprouting from the base of standing trees, and iii) serial grafting on to a juvenile rootstock to rejuvenate the adult scion (Leakey, 1988). The latter method has serious technical problems, as it may take a long time to develop truly juvenile material and, in many species, it may be difficult to know when 'true juvenility' has been achieved. The former methods present practical problems, since the trees are scattered in small private farms, sometimes of difficult access, all over the region. Felling the best trees is unlikely to be accepted by farmers. Therefore, for the clonal work it was decided to start cloning from seedlings. Two other arguments put forward favouring this approach were: i) it would be easier for participating countries to exchange seed rather than vegetative material, and ii) the use of seed would capture the full range of genetic variation from the undoubtedly dysgenic Central American populations of the species. This method starts with material of unknown phenotypic potential, but early selection tests can be developed, as has been done for other hardwood species (Leakey *et al.*, 1982)

Cuttings were initially harvested from seedlings. Rooted cuttings were then established in clonal gardens and managed as stockplants, with frequent harvests, fertilization and watering as required, to stimulate the production of a large number of vigorous, orthotropic shoots. Usually, shoots were harvested every three months, each one providing 6-10 single-node, leafy stem cuttings. These were usually 5-6 cm long, with the leaf area trimmed to around 30 cm². Shoots were harvested during the coolest time of the day and transported to the propagation area in containers with water. Once in the propagation room, the cuttings were kept moist and under shade to avoid water stress, and inserted in the propagator as quickly as possible after treatment.

Auxin concentration

Applied auxins have been shown not only to increase the percentage of cuttings which form roots, but also to hasten root initiation, to increase the number and quality of roots produced per cutting and to increase uniformity of rooting (Hartmann and Kester, 1968; Blazich, 1988). It seems that there is no simple relationship between auxin levels in cuttings and rooting, and to date, the exact role of auxins in stimulating adventitious root formation remains unclear. Besides the well known effects of auxins on cell division and growth, the beneficial effects of auxins on rooting have been associated with an increased transport of carbohydrates and leaf cofactors to the base of the cutting, where they enhance root primordium initiation and development (Haissig, 1974). It is also well established that metabolites and other growth factors are actually translocated to auxin-treated regions of the stem (Phillips, 1969; 1975). Under conditions of low photosynthetic activity, auxin transport and/or synthesis may be reduced; thus, photosynthesis by the cuttings may also indirectly influence rooting, by affecting auxin supply to the base of the cutting (Davis, 1988). Exogenous auxins may also induce rooting by stimulating DNA synthesis in suitable cells (Gaspar and Hofinger, 1988). It is likely that the effect of auxins in stimulating adventitious root formation in cuttings is a result of a complex interaction of these and probably other processes.

Although indole-3-acetic acid (IAA) is the auxin naturally found in plants, a related synthetic compound, indole-3-butyric acid (IBA) has been found most reliable in stimulating adventitious root formation in cuttings. It is non-toxic over a wide range of concentrations and is effective in promoting rooting of a large number of species. It is also much more light-stable than IAA and, being insoluble in water, remains longer in the site of application and then maintains its activity over longer periods (Hartmann and Kester, 1968). In addition, plants possess several mechanisms which operate to reduce and/or nullify the effectiveness of IAA, by conjugating it with other compounds or destroying it (Blazich, 1988). Optimum auxin concentration varies greatly between species, due to the cuttings varying in their levels of endogenous auxins, rooting cofactors, inhibitors, anatomy, leaf retention and possibly, to interactions between these factors (Leakey, 1985).

Considering this, it was not surprising to find large differences between species with regard to IBA concentration. In every case, IBA was applied to the clean cut base of the cuttings in 10 µl of methanol solution using a micrometer syringe. This allowed the application of a standard quantity of solution to every cutting. The alcohol was quickly evaporated off in a stream of cold air from a fan before inserting the cuttings in the propagator bed (see Leakey *et al.*, 1982). Usually, concentrations of 0, 0.05, 0.2, 0.4, 0.8 and 1.6 % IBA were tested. Table 4 shows the optimum concentration for each species. Contrary to all other species, *V. hondurensis* showed the highest rooting

percentages when no auxin was applied. However, the number of roots per rooted cutting increased with successive increases in auxin concentration, from three roots per rooted cutting with 0% IBA to eight roots per rooted cutting with 0.8% IBA. The concentration of 0.2% achieved the best balance between rooting percentage and root system quality (Mesén *et al.*, in press).

An IBA-based commercial rooting powder (Seradix) was also found effective in promoting rooting of most species, and could be used where supplies of pure IBA are not locally available.

The time for the beginning of root formation also varied between species, from three weeks for *A. guachapele* and *B. quinata* to around five for *V. hondurensis*. For all the species, no further rooting occurred beyond eleven weeks.

Table 4. Summary of results on IBA requirements for the rooting of leafy stem cuttings of the project species.

Species	IBA concentration (%)	Average rooting percentage
<i>A. guachapele</i>	0.05-0.4	90-100
<i>A. acuminata</i>	0.2	60-80
<i>B. quinata</i>	0.2	60-80
<i>C. alliodora</i>	0.8-1.6	60-90
<i>V. hondurensis</i>	0.2	80-90

CONCLUSIONS

The provenance/progeny trials established under this project are the first of their kind for most of the species studied, with the exception of *C. alliodora* and *B. quinata*. This is the first documented work that explores the efficacy of placing selection pressure on these broadleaf species in natural stands through plus tree selection. The trials are still too young to permit definitive conclusions, but they represent the result of a pioneering coordinated effort between many countries and institutions; the results will be of great interest to foresters.

The design used for the tests is excellent for conversion to seedling seed orchards after the evaluation period, by removing the worst trees and leaving only the best trees of the best families for seed production. CAMCORE has developed a selection index to facilitate the selection of the best genotypes in each test (Balocchi, 1990). The resulting seedling seed orchards will represent the first genetically proven seed sources for most of these species in Central America - a major step forward for the region.

The project, with close collaboration of ITE, has also demonstrated that clonal silviculture can be adopted by small scale rural development programmes, by using low-cost, simple propagation techniques. The project produced the first reports of

successful rooting for *A. guachapele*, *A. acuminata*, *C. alliodora* and *V. hondurensis*, some of which had the reputation of being difficult-to-root. The non-mist propagators described here and elsewhere (see Leakey *et al.*, 1990) seem to provide a very practical solution for the rooting of a very wide range of tropical species. The propagators have been found effective for the propagation of more than 100 species from different ecosystems and producing different end-products (Leakey and Mesén, 1991), and seem to be particularly useful for the dry-zone species which can be very susceptible to rotting under mist (Leakey *et al.*, 1990).

The approach adopted by this project, combining traditional improvement techniques, such as provenance/progeny tests, with low-cost and easily transferred cloning methods, offers excellent prospects for the conservation and commercial use of high genetic quality germplasm of valuable native species. By offering better planting alternatives to the landowner, reforestation can be stimulated, and this in turn will open new possibilities in the fight to counter further destruction of the forest genetic resources of the Central American region.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank Mr. Jonathan Cornelius and Mr. Eugenio Corea, CATIE Tree Improvement Project, for valuable comments and corrections to the draft. Thanks are also due to ESNACIFOR (Honduras), DIGEBOS (Guatemala) and the Research Department of Pizano/Monterrey Forestal (Colombia) for their valuable help in plus-tree selection and seed collections.

LITERATURE CITED

- Agency for International Development. 1989. Environmental and natural resource management in Central America: a strategy for A.I.D. assistance. s.n.t. 64 p.
- Balocchi, C.E. 1990. CAMCORE tree improvement program. CAMCORE Bulletin on Tropical Forestry. No. 7 - March, 1990. 37 p.
- Barnes, R.D.; Gibson, G.L. 1984. Editorial postscript to the summary. *In* 'Provenance and genetic improvement strategies in tropical forest trees'. Mutare, Zimbabwe, April 1984. Barnes, R.D. and Gibson, G.L. (Eds.). Commonwealth Forestry Institute, Oxford, and Forest Research Centre, Harare. pp. 656-659.
- Blazich, F.A. 1988. Chemicals and formulations used to promote adventitious rooting. *In* Adventitious Root Formation in Cuttings. Davis, T.D.; Haissig, B.E. and Sankhla, N.B. (Eds.). Disocorides Press, Portland, Oregon. Chapter 10, pp. 132-149.
- CATIE, 1991. Forestry research in the American Tropics. Unpublished report. September 1991. 26 p.
- Davis, T. 1988. Photosynthesis during adventitious rooting. *In* Adventitious Root Formation in Cuttings. Davis, T.D.; Haissig, B.E. and Sankhla, N.B. (Eds.). Disocorides Press, Portland, Oregon. Chapter 6, pp. 79-87.

- Loach, K. 1988. Water relations and adventitious rooting. *In* Adventitious Root Formation in Cuttings. Davis, T.D.; Haissig, B.E. and Sankhla, N.B. (Eds.). Disocorides Press, Portland, Oregon. Chapter 8, pp. 102-116.
- Mesén, J.F. 1991. Physiology of rooting and clonal selection of *Albizia guachapele* (Kunt) Dug. and *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken. First year report to the University of Edinburgh/Institute of Terrestrial Ecology, Edinburgh, Scotland. February, 1991. (No publicado).
- Mesén, J.F.; Leakey, R.R.B.; Newton, A.C. In press. Hacia el desarrollo de técnicas de silvicultura clonal para el pequeño finquero. *El Chasqui*, Costa Rica.
- Phillips, I.D.J. 1969. Apical dominance. *In* Physiology of Plant Growth and Development. Wilkins, M.B. (Ed.). McGraw Hill - London. pp. 163-202.
- Phillips, I.D.J. 1975. Apical dominance. *Annual Review of Plant Physiology*, 26: 341-367.
- Ramos, J.; Grace, J. 1990. The effects of shade on the gas exchange of seedlings of four tropical trees from Mexico. *Functional Ecology*, 4: 667-677.
- Stead, J.W. 1980. Commonwealth Forestry Institute international provenance trials of *Cordia alliodora* (R & P) Oken. Prepared for the Eleventh Commonwealth Forestry Conference, Trinidad and Tobago and Jamaica, September 1980. 17 p.

Low technology propagation of tropical trees: rooting physiology and its practical implications

A. C. Newton¹, J. F. Mesén², J. McP. Dick¹ and R. R. B. Leakey¹

1. Institute of Terrestrial Ecology*, Bush Estate, Penicuik, Midlothian, Scotland. EH26 OQB

2. Proyecto Mejoramiento Genético, CATIE, 7170 Turrialba, Costa Rica.

* A component of the Edinburgh Centre for Tropical Forests

Abstract

Leafy stem cuttings of a large number of tropical tree species (including *Albizia guachepele*, *Bombacopsis quinata*, *Cordia alliodora*, *Nauclea diderichii*, *Terminalia spinosa*, *Triplochiton scleroxylon* and *Vochysia hondurensis*) have been successfully rooted in low-technology polythene propagators in Costa Rica, Cameroon, Kenya and the UK. These propagators are cheap and easy to construct, and do not require piped water or an electrical supply.

An investigation has been made of the physiological activity of cuttings during propagation in relation to propagator microclimate. Lower vapour pressure deficits (VPDs) were maintained in the non-mist system than under mist, particularly at higher irradiances. Although cuttings were found to experience significant water deficits in both systems, resulting from the high VPD's associated with peaks in irradiance, all species were able to recover turgor prior to rooting. Cuttings of a range of species displayed high stomatal conductances (up to $400 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) when VPD's were low (less than 1.5 kPa), and average photosynthetic rates of around $2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ were recorded in *Terminalia spinosa* cuttings prior to rooting. The microclimate inside the propagator was found to interact with routine treatments applied to cuttings. For example, the optimum leaf area for rooting uniform length cuttings of *Cordia alliodora* was found to be dependent on the irradiance regime during propagation.

Together, these results highlight the interaction between propagator microclimate, the physiological activity of the cuttings, and the post-severance treatments applied to the cuttings. Suggestions are made towards identifying the optimum post-severance treatments and propagation environment for a given species. An assessment of which experimental variables should be fully described in experimental investigations is presented.

Keywords Vegetative propagation, rooting physiology, propagator microclimate

Introduction

Vegetative propagation techniques are increasingly being applied to tropical tree species, both for genetic improvement and conservation purposes (Leakey *et al.*, 1990; see also papers in Gibson, Griffin and Matheson, 1989). A wide range of species have now been successfully propagated using the techniques developed by the Institute of Terrestrial Ecology (ITE), Edinburgh, involving the rooting of leafy cuttings in a low-technology propagation system. In order to successfully mass propagate a given species, it is necessary to understand the critical factors which influence rooting so that consistently high rooting percentages can

be obtained. A number of critical factors have been identified, including (i) the propagator microclimate, (ii) the physiological status of the cuttings during propagation and (iii) the post-severance treatments applied to the cuttings. In this paper, following a brief description of low-technology propagation techniques, we describe how these environmental and physiological factors interact to influence rooting. The practical implications of these aspects are then discussed.

Low-technology propagation techniques

A wide range of tropical tree species from a range of different environments have now been successfully propagated using low-technology propagation techniques, including *Albizia guachepele*, *Bombacopsis quinata*, *Cordia alliodora*, *Nauclea diderichii*, *Terminalia spinosa*, *Triplochiton scleroxylon* and *Vochysia hondurensis* (see Leakey *et al.*, 1990; Dick *et al.*, 1992; Leakey, Newton and Dick, 1992). Many of these species have not been propagated before, or were previously thought to be difficult-to-root. The techniques are currently being applied in a number of tropical countries including Cameroon, Kenya and Costa Rica (Leakey *et al.*, 1990).

Leafy cuttings are routinely taken from seedlings, coppice shoots or managed juvenile stockplants. The cuttings consist of stem sections of 40-60 mm length, with 1- to 4-nodes, and either one or two leaves. In large leaved species, the leaves are trimmed to reduce water loss. Auxins such as indole-3-butyric acid (IBA) are generally applied to the base of the cutting prior to insertion in the propagator, either in solution (0.2-0.4% IBA in industrial methylated spirit) or in powder form (e.g. commercial rooting powders such as "Strike" or "Seradix"). The cutting is then inserted into the propagation medium to a depth of 15-25 mm.

The design of low-technology non-mist propagator currently in use is based on that of Leakey and Longman (1988), as described by Leakey *et al.* (1990). This design does not require an electrical supply or piped water, and is therefore particularly suitable to rural tropical areas. The propagator consists of a wooden or metal frame, which is completely enclosed in clear polythene so the base is water-tight. The base of the propagator is covered in a layer of sand, then successive layers of large stones (6 - 10 cm in size to a depth of 10-15 cm), small stones (3-6 cm) and gravel (0.5-1.0 cm) to a total depth of 20 cm. The rooting medium forms the uppermost layer, and may consist of sawdust, sand or fine gravel in various mixtures. The propagator is filled with water to a level a few centimetres below the surface of the rooting medium. Access is provided by a tight-fitting lid.

Successful propagation of leafy cuttings is dependent on the maintenance of suitable air and leaf temperatures, irradiances and vapour pressure deficits (VPD's) for the physiological activity of the cuttings (Loach, 1988). As water loss from the cuttings is primarily determined by VPD, quantification of variation in VPD in the propagator is particularly useful for developing management guidelines for the propagation system (Grange and Loach, 1983).

Variation in VPD in mist and non-mist propagators

When the microclimate of a low-technology non-mist system was compared with a more traditional mist unit, pronounced diurnal variation in VPD was recorded in both systems. VPD's tended to remain close to 0 kPa during nightfall, then rose rapidly to peaks of up to

6.0 kPa to around midday with the corresponding increase in irradiance (Newton and Jones, 1992a) (Fig. 1). Air and leaf temperatures also tended to display diurnal variation, with maximum values coinciding with peak irradiances; values tended to be in the range 25-35°C. VPD's under mist were consistently higher than under non-mist, reflecting the higher relative humidities and lower leaf-air temperature differences maintained in the non-mist system.

These results indicate that the non-mist system developed by ITE is at least as effective as the mist system at maintaining relatively low VPD's during periods of high irradiance. This emphasises the fact that the microclimate of non-mist propagators is comparable with other more sophisticated propagation systems, and highlights their suitability for a wide range of species.

Regression analyses between VPD and irradiance provide a basis for guidelines of propagator management. For example, in measurements taken to date in the non-mist system, irradiance in the propagator would need to be kept below approx. $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ to maintain VPD's below 0.5 kPa, a threshold suggested by Grange and Loach (1983). Results also indicate that the VPD can be reduced by keeping the internal surfaces of the propagator wet, and reducing the period of opening of the propagator lid (Newton and Jones, 1992a).

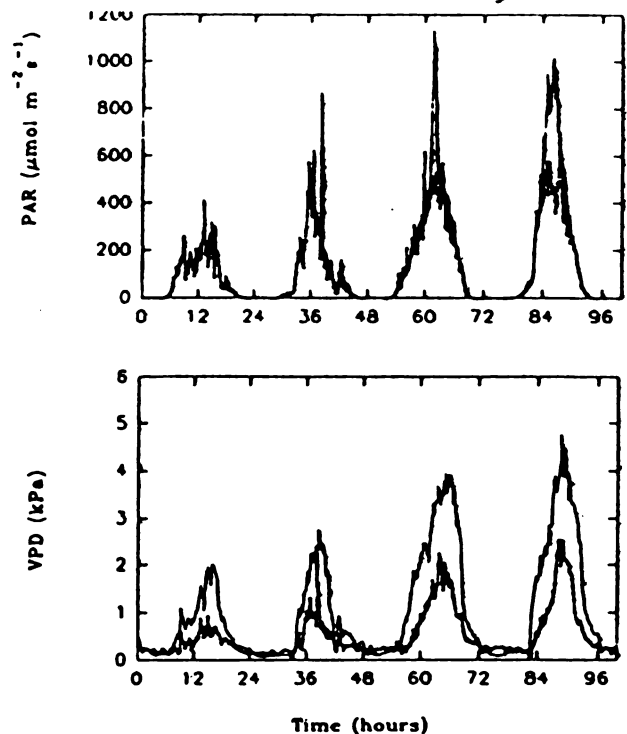


Figure 1 Variation in irradiance (above) and VPD (below) in a mist (lines) and non-mist (lines with circles) propagation system over four days, July 1991

The physiological activity of leafy cuttings during propagation

Leafy cuttings are vulnerable to desiccation during propagation, particularly prior to root development and during high VPDs (Grange and Loach, 1983). In a comparative investigation of *Albizia guachepele*, *Terminalia spinosa* (both arid-zone species), *Triplochiton scleroxylon* and *Cordia alliodora* (both humid-zone species) in polythene-covered mist and non-mist systems, water potentials measured at 14:00 h were in the range -0.4 to -2.2 MPa under mist and -0.4 to -3.1 MPa under non-mist. These values compare with the range of -0.4 to -1.2 MPa recorded for *T. scleroxylon* (Leakey and Coutts, 1989), and -0.2 MPa to -1.8 MPa obtained from three ornamental species, under conventional mist (Grange and Loach, 1985). However, in our experience, most species seem able to regain turgor following such deficits. For example, when the four species listed above were measured throughout the day, a mid-day decline in leaf water potential was frequently recorded (Fig. 2). In most cases, water potentials recovered during late afternoon or overnight. An increase in mean leaf water potential was also observed over the three weeks after insertion of cuttings of *A. guachepele* and *C. alliodora* in the propagator, from minima around -1.5 MPa to values close to -0.5 MPa (Newton and Jones, 1992b).

In this investigation, water potentials were also found to vary with the propagation system utilised and the species involved. For example, in the case of the experiment comparing *A. guachepele* and *C. alliodora*, water potentials of both species were lower under mist than under the low-technology non-mist system (Fig. 3). In addition, mean water potentials of *C. alliodora* were significantly lower than *A. guachepele*, and those of *T. scleroxylon* were lower than *T. spinosa* (Fig. 3) (Newton and Jones, 1992b). These results suggest that species from arid environments may be more tolerant of desiccation during propagation than species from humid areas.

Despite the significant water deficits incurred during these experiments, many of the cuttings subsequently rooted successfully (Newton and Jones, 1992b). Although Loach (1977) indicated that low water potentials may result in a reduction in rooting ability, the critical thresholds of water status for root development are still poorly defined. More precise information is required relating the interaction between the water status of leafy cuttings during propagation and its impact on root development. The primary effect of water deficits developed in leafy cuttings will be to restrict the photosynthetic activity of the foliage, and thereby limit the rate of carbon fixation during the propagation process.

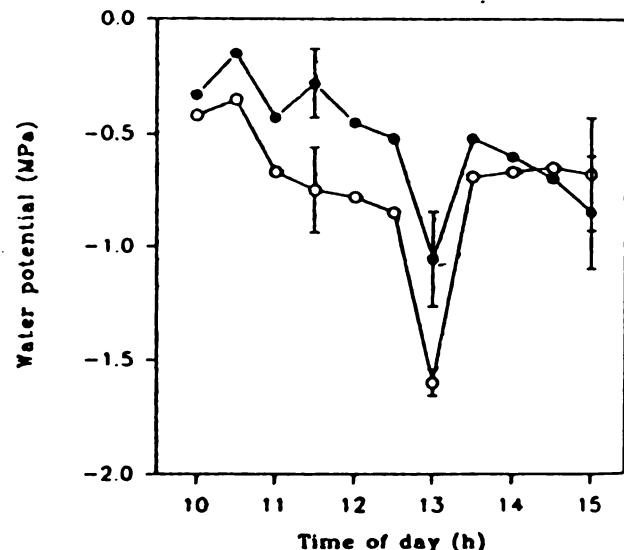


Figure 2 Diurnal variation in water potential of *Albizia guachepele* in mist (open) and non-mist (closed) propagators ($n = 10 \pm \text{scm}$)

All of the tropical species we have so far investigated by either porometry or gravimetry have been found to actively transpire during propagation. For example, in *T. spinosa* conductances were found to be in the range $50 - 300 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in a non-mist propagation system; values tended to be higher after the onset of root emergence (Newton *et al.*, 1992). In a separate series of experiments comparing the responses of the four species listed above in both non-mist and polythene-covered mist systems, stomatal conductances were generally in the range $50 - 400 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ prior to root formation (Newton and Jones, 1992b). In the case of *A. guachepele* and *C. alliodora*, conductances tended to increase with time after insertion in the propagator, highlighting the ability of the cuttings to recover from water deficits incurred following severance. When *T. spinosa* and *T. scleroxylon* were compared, conductances of the former species tended to be higher, reflecting the greater ability of this arid-zone species to tolerate water deficits (Newton and Jones, 1992b).

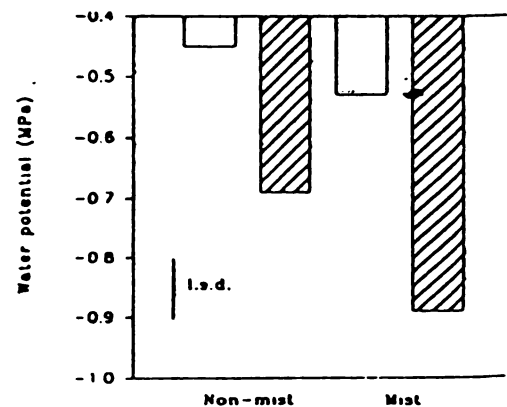


Figure 3 Mean water potential of *Albizia guachepele* (open) and *Cordia alliodora* (hatched) in non-mist and mist propagators ($n > 200$)

The stomatal conductances of *T. scleroxylon* and *T. spinosa* were found to be negatively related to VPD at the time of measurement (Newton and Jones, 1992b). This emphasises the effects of propagator microclimate on the physiological activity of the cuttings during propagation.

The results obtained from these investigations contrast with those of Gay and Loach (1977), who concluded from an experiment with temperate shrubs that stomatal conductances of leafy cuttings remain low (around 40 - 80 mmol m⁻² s⁻¹) until roots have formed. The relatively high conductances recorded in our investigations are evidence for gas exchange during propagation being one of the critical factors influencing rooting.

In *Terminalia spinosa*, as in many other tropical tree species, removal of the leaf prevents rooting (Newton, Dick and Muthoka, 1992). This supports the suggestion that carbohydrates produced by the leaf are vital for root development. Although a number of authors have suggested that the production of carbohydrates during propagation is of crucial importance for rooting of leafy cuttings (see Davis, 1988), few measurements of photosynthesis have actually been made. In *T. spinosa*, all leafy cuttings measured (using an infra-red gas analyser) were found to actively photosynthesize during the period of propagation in a non-mist propagator, with a mean rate of approx. 2 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ and a maximum rate of over 6 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ (Newton *et al.*, 1992) (Fig. 4). The photosynthetic rate at any given time was found to be strongly dependent on stomatal conductance and irradiance (P < 0.001 in both cases). Regression analysis indicated that cuttings with larger leaf areas displayed lower photosynthetic rates during periods of high irradiance, as a result of the onset of water deficits and stomatal closure. Photosynthetic rates also tended to be higher in rooted than unrooted cuttings, as would be expected from the improved water supply to the leaf following root development (Fig. 4) (Newton *et al.*, 1992).

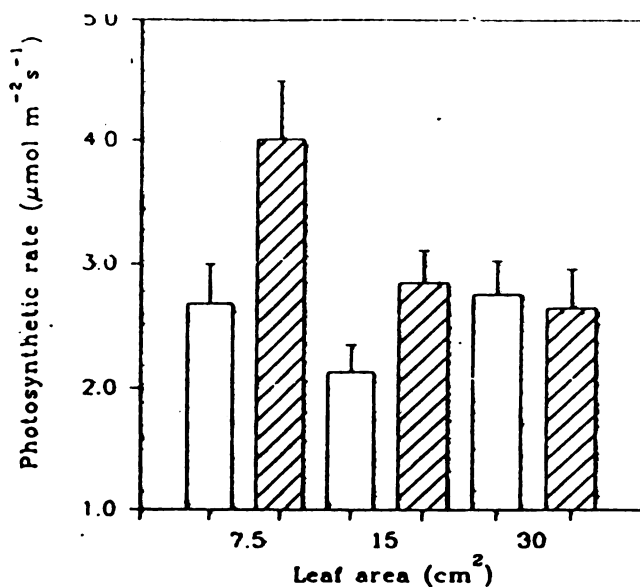


Figure 4 Mean photosynthetic rate of unrooted (open) and rooted (hatched) *T. spinosa* cuttings (n > 16 + sem)

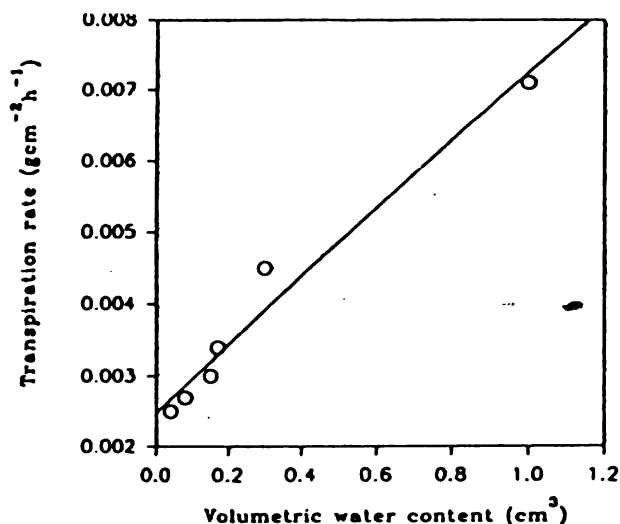


Figure 5 The relationship between transpiration rate from cuttings of *C. alliodora* and the volumetric water content of different media

In a separate investigation, the transpiration rate (measured gravimetrically) of *Cordia alliodora* cuttings placed in different rooting media was found to be positively related to the volumetric water content of the medium (Fig. 5; $y = 0.0048x + 0.0025$; $r^2 = 0.98$) (Newton, Mesén and Leakey, 1991). This illustrates that the water availability in the rooting medium also influences cutting water status, and may therefore also affect photosynthetic activity and rooting. The relative importance of VPD and the water content of the rooting medium in determining cutting water status has not yet been investigated, although both aspects should clearly be taken into account if rooting ability is to be optimised.

The effects of post-severance treatments applied to cuttings

Rooting of leafy cuttings can also be influenced by post-severance treatments, such as leaf area, amount of applied auxin and cutting size. For example, the rooting ability of *T. scleroxylon* was found to be positively related to cutting length (Leakey and Mohammed, 1985). Leaf areas of 50 cm² and 10-30 cm² have been found to be optimal for the rooting of *T. scleroxylon* and *Khaya ivorensis* respectively (Leakey *et al.*, 1982; Tchoundjeu, 1989). Rooting of other species, such as *T. spinosa* (Newton *et al.*, 1992) and *Nauclea diderichii* (Leakey, 1990) is apparently less sensitive to variation in leaf area. This tendency of some species to display optimum leaf areas for rooting reflects the trade-off between photosynthesis and water loss during propagation (Okoro and Grace, 1976). A number of species also display different optima for the quantity of IBA applied to the cutting base pre-severance. For example, optimum IBA concentrations in a solution of industrial methylated spirit for *Cordia alliodora*, *Albizia guachepele* and *Vochysia hondurensis* were found to be 0.4, 0.1 and 0.2% respectively (Leakey *et al.*, 1990).

The influence of the various post-severance factors on rooting can be best appreciated by considering the relative availability of carbohydrates produced pre- and post-severance. For example, the production of carbohydrate by photosynthesis during propagation is determined by the photosynthetic activity of the leaves, which depends upon leaf size and nutrient status, the water status of the cutting, and the availability of an appropriate carbohydrate sink (see Hoad and Leakey, 1992). These factors can be manipulated by the pre-severance growth environment (Leakey *et al.*, 1992).

Although the effects of post-severance treatments are becoming increasingly well documented, their interactive nature has largely been ignored. For example, the optimum leaf area for a given species will vary with the irradiance regime during propagation. This is illustrated by an experiment with *Cordia alliodora*, where cuttings with 20cm² and 30 cm² leaf area rooted equally well in both shaded and unshaded propagator environments, the shaded treatment receiving 7% irradiance of the

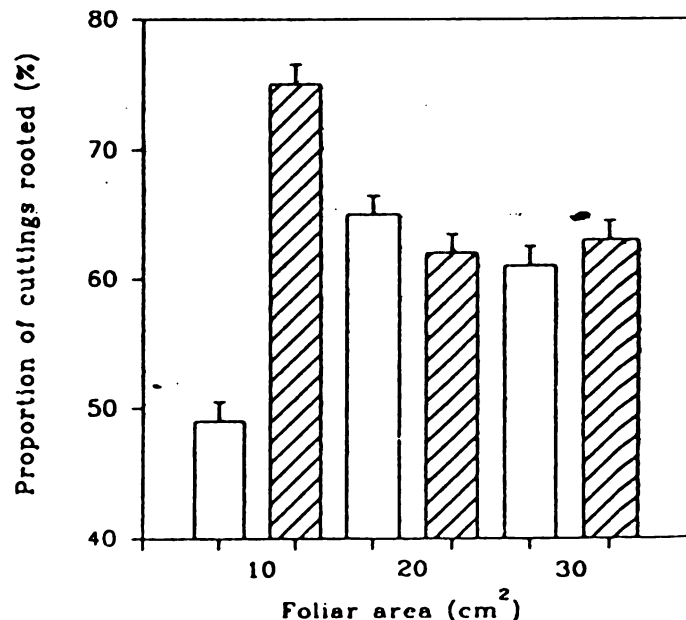


Figure 6 The interaction between cutting leaf area, irradiance regime and rooting of *C. alliodora*

unshaded propagator. However, rooting percentages of cuttings with 10 cm² leaf area were significantly higher under high irradiance (Fig. 6) (Newton, Mesén and Leakey, 1992). This may be explained by higher rates of photosynthesis and lower water deficits in the small-leaved, high irradiance treatment. Similarly, in *Bombacopsis quinata* and *Vochysia hondurensis*, the effect of different concentrations of applied IBA was found to depend on the rooting medium utilised (Newton *et al.*, 1991). Other more complex interactions are to be expected: the relative importance of pre- and post-severance carbohydrates will vary with the stem and leaf dimensions, and will be influenced by the propagator microclimate and rooting medium, as well as by the amount of applied IBA.

Practical implications

The fact that rooting is influenced by so many interactive factors necessitates the development of process-based models as a tool to understanding (see Dick *et al.*, 1992). In time, these modelling approaches should enable practical guidelines to be generated for individual species for any given set of conditions. In the interim, it is essential that researchers provide detailed accounts of experimental procedures, to assist in interpretation of results. For example, propagation experiments detailing the influence of a particular factor should also give information on the propagation environment, the pre-severance stockplant growth environment, the dimensions of the cuttings etc. Experimenters should seek to either remove or quantify different sources of variation, so their impact may be assessed accurately. This might include taking cuttings of standard length and leaf area, measuring cutting stem diameters, taking account of cutting origin (Leakey *et al.*, 1992) and analysing the nutritional status and carbohydrate dynamics of the cuttings during propagation (c.f. Hoad and Leakey, 1992).

As an additional layer of complexity, species and clones will differ in their responses to microclimatic factors and different post-severance propagation treatments. In order to successfully mass propagate a given species, an understanding of its physiological characteristics is desirable. These responses will determine the appropriate rooting environment and pre-severance treatments to be applied. For example, a drought-tolerant species such as *T. spinosa* is better able to tolerate a high irradiance/ high VPD propagation environment than a species from more humid areas, such as *T. scleroxylon*. Under such conditions, the drought-tolerant species might display relatively low sensitivity to variation in leaf area and variation in stem size.

Since all the various factors influencing rooting performance are interactive, the propagation and stockplant growth environment should influence which treatments are applied to the cuttings. In situations where simplified routine treatments are adopted, such as standard cutting size and leaf areas, then an attempt should be made to standardise the propagation and stockplant environments, to enhance repeatability of results. The precise treatments employed for the propagation of a particular species will depend on the physiological characteristics of the species concerned and the propagation environment utilized.

Acknowledgements

Angela Jones and Patrick Muthoka assisted in the collection of some of the experimental data presented here. We thank Colin McBeath, Frank Harvey and John McCormack for maintenance of glasshouse plants at ITE.

References

- Davis, T. M. (1988). Photosynthesis during adventitious rooting. In: Eds. T. M. Davis, B. E. Haissig & N. Sankhla. *Adventitious root formation in cuttings*. Oregon: Dioscorides Press pp. 79-85.
- Dick, J. Mc. P., Munro, R. C., Mason, P. A., Wilson, J., Ingleby, K., Muthoka, P. N., Jefwa, J., Newton, A. C. and Leakey, R. R. B. (1992). Opportunities for improving genetic quality and survival of planted trees in semi-arid lands. In *Faidherbia albida in the West African semi-arid tropics: state of the art and goals for the future*. ICRISAT, Niger (In press).
- Dick, J. McP., Dewar, R. and Leakey, R. R. B. (1992). A mechanistic model of rooting for the sustained mass propagation of stem cuttings. (This volume).
- Gay, A. P. and Loach, K. (1977). Leaf conductance changes on leafy cuttings of *Cornus* and *Rhododendron* during propagation. *Journal of Horticultural Science*, 52: 509-516.
- Grange, R. I. and Loach, K. (1983). Environmental factors affecting water loss from leafy cuttings in different propagation systems. *Journal of Horticultural Science*, 58(1): 1-7.
- Grange, R. I. and Loach, K. (1985). The effect of light on the rooting of leafy cuttings. *Scientia Horticulturae*, 27: 105-111.
- Gibson, G. L., Griffin, A. R. and Matheson, A. C. (Eds.) (1989). Breeding tropical trees: population structure and genetic improvement strategies in clonal and seedling forestry. Proceedings of a IUFRO conference, Pattaya, Thailand, 1988. Oxford Forestry Institute, Oxford, UK.
- Hoad, S. and Leakey, R. R. B. (1992). Morphological and physiological factors induced by light quality and affecting rooting in *Eucalyptus grandis*. (This volume).
- Leakey, R. R. B. (1990). *Nauclea diderrichii*: rooting of stem cuttings, clonal variation in shoot dominance, and branch plagiotropism. *Trees*, 4: 164-169.
- Leakey, R. R. B. and Coutts, M. P. (1989). The dynamics of rooting in *Triplochiton scleroxylon* cuttings: their relation to leaf area, node position, dry weight accumulation, leaf water potential and carbohydrate composition. *Tree physiology*, 5: 135-146.
- Leakey, R. R. B. and Longman, K. A. (1988). Low-technology cloning of tropical trees. *Appropriate technology*, 15(1): 6.
- Leakey, R. R. B., Chapman, V. R. and Longman, K. A. (1982). Physiological studies for tropical tree improvement and conservation. Factors affecting root initiation in cuttings of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. *Forest Ecology and Management*, 4: 53-66.
- Leakey, R. R. B., Mesén, J. F., Tchoundjeu, Z., Longman, K. A., Dick, J. McP., Newton, A., Matin, A., Grace, J., Munro, R. C., Muthoka, P. N. (1990). Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review*, 69(3): 247-257.
- Leakey, R. R. B., Dick, J. McP. and Newton, A. C. (1992). Stockplant-derived variation in rooting ability: the source of physiological youth. (This volume)
- Leakey, R. R. B. and Mohammed, H. R. S. (1985). Effects of stem length on root initiation in sequential single-node cuttings of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. *Journal of Horticultural Science*, 60: 431-437.
- Leakey, R. R. B., Newton, A. C. and Dick, J. Mc. P. (1992). Capture of genetic resources by vegetative propagation: physiological understanding for better methods and improved rooting. In: *Tropical trees: Potential for Domestication. Rebuilding forest resources*. Ed. by R. R. B. Leakey and A. C. Newton, H.M.S.O. (In press).
- Loach, K. (1977). Leaf water potential and rooting of cuttings under mist and polythene. *Physiologia Plantarum*, 40: 191-197.
- Loach, K. (1988). Water relations and adventitious rooting. In: T. D. Davis, B. E. Haissig and N. Sankhla (Eds.). *Adventitious root formation in cuttings*. Oregon: Dioscorides Press, pp. 102-115.
- Newton, A. C., Dick, J. McP. and Muthoka, P. (1992). Rooting physiology of leafy stem cuttings of *Terminalia spinosa* Engl. *Trees* (In press).
- Newton, A. C. and Jones, A. C. (1992a). Comparison of microclimate in mist and non-mist propagation systems. (In press).
- Newton, A. C. and Jones, A. C. (1992b). The water status of leafy cuttings of four tropical tree species during propagation. (In press).
- Newton, A. C., Mesén, J. F. and Leakey, R. R. B. (1991). The ITE/CATIE link: interim report to the Overseas Development Administration. Institute of Terrestrial Ecology, Edinburgh, Scotland.
- Newton, A. C., Mesén, J. F. and Leakey, R. R. B. (1992). The ITE/CATIE link: second interim report to the Overseas Development Administration. Institute of Terrestrial Ecology, Edinburgh, Scotland.
- Okoro, O. O. and Grace, J. (1976). The physiology of rooting *Populus* cuttings. I. Carbohydrates and photosynthesis. *Physiologia Plantarum*, 36: 133-138.
- Tchoundjeu, Z. (1989). Vegetative propagation of tropical hardwoods, *Khaya ivorensis* A. Chev. and *Luvua trichilioides* Harms. Ph.D. thesis, University of Edinburgh.

PROPAGACION VEGETATIVA DE ESPECIES FORESTALES:
RESULTADOS Y APLICACIONES

VEGETATIVE PROPAGATION OF TROPICAL TREES:
RESULTS AND PRACTICAL IMPLICATIONS

Francisco Mesén¹, Roger R.B. Leakey², Adrian C. Newton², Eugenio Corea¹, Jonathan P. Cornelius¹

Summary

Leafy stem cuttings of a large number of tropical tree species were successfully rooted in low-technology, non-mist propagators at CATIE, Costa Rica and ITE, Scotland. The study concentrated on some of the factors, both pre-and post-severance, known to have a critical influence on the physiological condition and the rooting ability of cuttings. The practical implications arising from the study are also discussed.

Actualmente se reconoce la importancia de la propagación vegetativa en silvicultura, tanto por posibilitar la obtención de aumentos dramáticos en la productividad y en la calidad de las plantaciones forestales, como por ofrecer una herramienta efectiva para la conservación de los recursos genéticos. Algunos de los problemas tradicionales de los sistemas de propagación vegetativa, en particular, la baja tasa de multiplicación, los requerimientos de instalaciones sofisticadas, personal altamente calificado y/o la necesidad de grandes inversiones, han sido superados mediante el desarrollo de propagadores de sub-irrigación, simples y de bajo costo (Leakey *et al.* 1990). Para lograr la multiplicación masiva de una especie en particular, es necesario entender los factores críticos que influyen el enraizamiento de estacas. Entre estos factores destacan el manejo de las plantas donantes, el ambiente de propagación y su efecto sobre la condición fisiológica del material y los tratamientos aplicados a las estacas.

Todos estos factores fueron estudiados en un grado variable de detalle para las especies *Albizia guachapele*, *Acacia mangium*, *Bombacopsis quinata*, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Eucalyptus deglupta*, *Gmelina arborea* y *Vochysia guatemalensis*, mediante un trabajo conjunto entre el Proyecto de Mejoramiento Genético Forestal del CATIE y el Instituto de Ecología Terrestre (ITE) de Escocia. Los trabajos se llevaron a cabo en el vivero experimental del CATIE, Turrialba y en invernaderos tropicalizados del ITE, entre 1990 y 1993.

Se utilizaron estacas juveniles de 4-6 cm de longitud, con una área foliar reducida de 10-60 cm² y tratadas con una

1/Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE, Turrialba, Costa Rica

2/Institute of Terrestrial Ecology (ITE), Bush Estate, Penicuik, Scotland

concentración de 0-1,6% de ácido indol-3-butírico (AIB), aplicado con microjeringa a la base de la estaca en 10 µl de etanol. Las estacas fueron establecidas en los propagadores utilizando diferentes sustratos de enraizamiento, normalmente arena, aserrín, grava o mezclas de estos, bajo diferentes niveles de irradiación.

Para la evaluación del intercambio gaseoso de las plantas donantes y las estacas, se utilizó un analizador infrarrojo de gases (IRGA LCA-3), conectado a una cámara foliar Parkinson. La fluorescencia de la clorofila se midió con un 'Stressmeter' PSM Mark II, Bio Monitor. Las condiciones ambientales dentro del propagador se midieron durante todo el proceso de propagación, con lecturas cada 10 s promediados cada 15 min, utilizando un microprocesador Campbell 21 X, conectado a sensores de humedad relativa, temperatura aérea, temperatura del sustrato e irradiación (para detalles de la descripción y uso del equipo descrito, ver Mesén 1993).

Todas las especies estudiadas enraizaron con facilidad, incluyendo algunas consideradas anteriormente como 'difíciles de enraizar', demostrando las ventajas del sistema de propagación utilizado. Para muchas de las especies, estos trabajos produjeron los primeros informes de enraizamiento exitoso, con producción de plántulas de crecimiento ortotrópico normal (Leakey *et al.* 1990; Newton *et al.* 1992).

El proceso de formación de raíces adventicias es dependiente de un gran número de factores genéticos, fisiológicos, morfológicos y ambientales, que operan tanto antes como después de la colecta de estacas en una forma compleja e interrelacionada. Además, se encontró evidencia que sugiere que los tratamientos óptimos durante las etapas iniciales del proceso de enraizamiento, pueden no serlo en etapas posteriores. Esto concuerda con el concepto de que existen al menos dos etapas en el proceso de formación de raíces adventicias, y que los factores que influyen la iniciación de raíces no son necesariamente los mismos que influyen el desarrollo de raíces.

Las especies mostraron diferencias en su respuesta a tratamientos similares, algunas veces en una forma claramente opuesta, probablemente como resultado de diferencias genéticas asociadas con adaptaciones a las condiciones ecológicas contrastantes de su ambiente natural.

Este estudio permitió entender más claramente el efecto de un número de factores, tanto antes como después de la colecta, que tradicionalmente han sido reconocidos como cruciales en la determinación de la habilidad de enraizamiento de las estacas.

No cabe duda de que el proceso de enraizamiento es complejo, determinado por una gran cantidad de factores

interrelacionados que deben ser optimizados. Sin embargo, la comprensión de los factores críticos ha permitido el desarrollo de paquetes tecnológicos adaptados a cada especie, y el inicio de programas aplicados de silvicultura clonal.

La propagación vegetativa y en particular, el uso de estacas enraizadas, traerá grandes beneficios al desarrollo forestal, como lo evidencian ya los tremendos aumentos en calidad y productividad obtenidos con los eucaliptos en Brasil y el Congo, con *Triplochiton scleroxylon* en Africa Occidental, con *G. arborea* en Malasia, con *Acacia mangium* en Indonesia y con *Pinus radiata* en Australia, Nueva Zelandia y Sur Africa. Asimismo, mediante selección y propagación clonal se espera un aumento en el uso de especies locales, con los consecuentes beneficios sociales, económicos y ecológicos (Leakey 1987). Como lo expuso Zobel (1992), la pregunta no es si la propagación vegetativa tiene futuro en silvicultura, sino cuándo y cómo.

Referencias

- 1) Leakey, R.R.B.; Mesén, F.; Tchoundjeu, Z.; Longman, K.A.; Dick, J. McP.; Newton, A.; Matin, A.; Grace, J.; Munroe, R.C.; Muthoka, P.N. (1990). Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Comm. For. Rev. (U.K.)*, 69(3):247-257.
- 2) Mesén, F. (1993). Vegetative propagation of Central American hardwoods. Ph.D. Thesis, Institute of Terrestrial Ecology/University of Edinburgh, Scotland (en prep.).
- 3) Newton, A.C.; Mesén, F.; Dick, J. McP.; Leakey, R.R.B. (1992). Low technology propagation of tropical trees: rooting physiology and its practical implications. In Mass Production Technology for Genetically Improved Fast Growing Forest Tree Species. Proceedings, AFOCEL, Nangis, France. pp. 417-423.
- 4) Zobel, B. (1992). Vegetative propagation in production forestry. *Journal of Forestry*, 90:29-33.

3. MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL: ASPECTOS ESTRATEGICOS Y TEORICOS

Noticias de los proyectos



PROGRAMA DE SILVICULTURA

PROYECTO DE MEJORAMIENTO DE ARBOLES DE VALOR ECONOMICO

Francisco Mesen*

La alarmante tasa de deforestación en Costa Rica -entre 60.000 y 70.000 ha por año (Hartshorn et al., 1983), la baja productividad de los bosques nativos y la limitación en conocimientos que permitan su explotación racional, pusieron de manifiesto la necesidad de establecer plantaciones con especies de rápido crecimiento para satisfacer la demanda por productos forestales. Sin embargo, los escasos intentos realizados con este tipo de especies no han dado resultados muy satisfactorios debido principalmente a la errónea selección de la fuente de semilla, unido a técnicas de vivero y métodos de establecimiento poco adecuados. Se hizo evidente entonces la necesidad de realizar trabajos de selección y mejoramiento de las especies más promisorias, en busca de mejores alternativas para las principales áreas con potencial para reforestación en Costa Rica.

Este tipo de trabajo se inició formalmente en 1977 a través del Proyecto de Mejoramiento de Arboles de Valor Económico del CATIE, con financiación de la Administración para el Desarrollo en Ultramar (ODA) del Reino Unido y la Agencia Suiza de Cooperación para el Desarrollo (COSUDE). Antes de 1977, sin embargo, se realizó

algunos trabajos sobre introducción de especies principalmente que proporcionaron información valiosa para futuros estudios. De esta forma, el trabajo en mejoramiento se puede dividir en dos periodos; el primero de 1949 a 1977 y el segundo de 1977 hasta el presente.

TRABAJOS DE MEJORAMIENTO DE 1949 A 1977

Durante este período algunos investigadores establecieron ensayos de introducción de especies, principalmente en forma de arboretos, con muchas especies indígenas y exóticas plantadas juntas en pequeñas parcelas. A pesar de la imposibilidad de efectuar análisis estadísticos estos primeros ensayos permitieron la identificación de algunas especies sobresalientes para estudios posteriores. Durante este período también se estableció algunos ensayos de procedencias y progenies (Pinus caribaea en 1973, Cordia alliodora en 1976, pero el escaso mantenimiento y los diseños inadecuados imposibilitaron la obtención de resultados confiables (Ver Combe y Gewald, 1979).

* Ing. Agr. del CATIE, Turrialba
Costa Rica



TRABAJO DE MEJORAMIENTO DE 1977 AL PRESENTE

El Proyecto trabaja actualmente con nueve especies que mostraron superioridad en los ensayos preliminares, aunque está concentrado principalmente en dos especies de coníferas, P. caribaea y P. oocarpa y una latifoliada, C. alliodora. Se ha establecido 40 ensayos en 18 sitios en Costa Rica, los cuales incluyen las principales zonas ecológicas con potencial para reforestación en el país. El Proyecto trabaja a nivel de procedencias, selección de árboles plus, progenies y propagación vegetativa.

PRUEBAS DE PROCEDENCIAS

Los ensayos de procedencias se han establecido mediante participación en ensayos internacionales coordinados por organizaciones como CFI, IUFRO, CSIRO, Centro de Semillas de Dinamarca y FAO. El material plantable se produce en el Vivero Forestal del CATIE; en el campo, usualmente se establece los ensayos en terrenos propiedad de instituciones nacionales o compañías privadas, para tratar de asegurar la permanencia del ensayo durante todo su ciclo de rotación (15-20 años).

A pesar de que la mayoría de los ensayos han sido establecidos recientemente, ya se ha obtenido resultados interesantes en los ensayos más antiguos. Por ejemplo, se ha identificado algunas procedencias sobresalientes que pueden ahora utilizarse en etapas más avanzadas de mejoramiento (ver Bird, 1983 y 1984, Boshier, 1984; Dyson, 1980; Salazar 1981 y 1982).

SELECCION DE ARBOLES PLUS

A partir de 1983 se inició un programa de selección de árboles plus de C. alliodora a lo largo de su rango de dispersión natural en la zona Atlántica de Costa Rica. La principal razón para iniciar este programa fue la gran variación en forma de crecimiento entre árboles en plantaciones, lo cual indica una gran variabilidad genética dentro de la especie y la posibilidad de mejorar estas características por medio de selección individual. La selección se basa en cinco características: rectitud del fuste, altura total, DAP, forma de la copa y ausencia de enfermedades, especialmente el cáncer del tallo causado por Puccinia cordiae. Hasta el momento se ha seleccionado y colectado semilla de más de 50 árboles sobresalientes. Esta semilla estará disponible para distribución a partir de julio de 1985 para aquellas entidades que tengan interés en establecer pruebas de progenies con esta especie. Los interesados deben solicitarlas a D. Boshier en el DRNR del CATIE.

En 1985 se inició también la selección de árboles plus de P. oocarpa entre las procedencias más promisorias en los ensayos establecidos por el Proyecto, con miras al establecimiento de huertos semilleros experimentales en dos sitios en Costa Rica.

PRUEBAS DE PROGENIES

Aunque la atención hasta ahora se ha concentrado en las pruebas de procedencias, ya se ha establecido ensayos de progenies de P.



caribaea y P. oocarpa en dos sitios en Costa Rica con semillas de las recolecciones realizadas por el CF de árboles plus de Centroamérica. Este tipo de ensayos permite la estimación de parámetros genéticos de la población, ofrece material apto para selecciones futuras, permite la conservación de genes y la posibilidad de convertir el ensayo en una área para producción de semilla mejorada una vez identificadas las mejores familias. Por esta última razón, una repetición de los ensayos se ha establecido en una zona con época seca bien definida donde se espera que haya producción de semilla viable. En 1986 se establecerá también un ensayo de progenies de C. alliadora con semilla de las recolecciones realizadas por el Proyecto en rodales nativos de Costa Rica.

PROPAGACION VEGETATIVA

La propagación vegetativa juega un papel importante dentro del Proyecto por cuanto permite la conservación y multiplicación de genotipos y la creación de huertos semilleros clonales. En el Proyecto se ha probado una técnica de injerto en Pinus sp y se ha adaptado a las condiciones locales; esto permitirá el establecimiento de los huertos semilleros clonales de P. oocarapa, Eucalyptus deglupta se ha propagado exitosamente mediante enraizamiento de estacas y en 1983 se dió inicio a un estudio sobre el enraizamiento de estacas de Araucaria hunsteinii, una especie que ha mostrado características sobresalientes en ensayos preliminares.

CONCLUSION

El Proyecto de Mejoramiento de Arboles pretende conseguir información genética con el fin de mejorar las especies más prometedoras para plantaciones en Costa Rica y el resto de Centro América. Con esto se espera desarrollar material de alto valor y rendimiento, que pueda integrarse de manera continua y permanente al proceso al proceso productivo del país y la región centroamericana.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BIRD, N.M. 1983

An evaluation of a provenance trial of Pinus caribaea Morelet in Costa Rica.

B.Sc. Thesis, University of Aberdeen. 113 p. (No publicada).

BIRD, N.M. 1984

Variation in volume overbark, stem straightness and longest internode length at five years of age between ten provenances of Pinus caribaea Morelet and two provenances of Pinus oocarpa Scheide in Costa Rica.

Paper prepared for Joint Meeting of IUFRO Working Parties on Provenance and Genetic Improvement Strategies in Tropical Forest Trees, Mutare, Zimbabwe, April 1984.

BOSHIER, D.H. 1984

The International Provenance Trial of Cordia alliadora (R&P Oken in Costa Rica.

Paper prepared for Joint Meeting of IUFRO Working Parties on



Provenance and Genetic Improvement Strategies in Tropical Forest Trees, Mutare, Zimbabwe, April 1984.

COMBE, J. y GEWALD, N.J. 1979
Guía de campo de los Ensayos Forestales del CATIE en Turrialba, Costa Rica.
Turrialba, Costa Rica, CATIE, 378 p.

DYSON, W.G. 1980
Prueba de Procedencias de Pinus oocarpa. Resumen de logros un año después de la plantación.
Programa de Recursos Naturales Renovables. CATIE. Turrialba, Costa Rica. (No publicado).

HARTSHORN, G. et al 1982
Costa Rica, Perfil Ambiental: Estudio de Campo.
San José, Costa Rica, CCT/USAID. 151 p.

SALAZAR, R. 1981
Genetic variation in Pinus caribaea, var hondurensis Barret and Golfari.
D. Phil. Thesis. University of Oxford, 271 p. (No publicada).

SALAZAR, R. 1982
Comportamiento juvenil de nueve procedencias de Pinus caribaea var hondurensis Barret and Golfari en Costa Rica. Turrialba, 32(4):387-397.



ramita y flores de
Cordia alliodora (Ruiz & Pavon) Oken

EL PROYECTO MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL DEL CATIE¹

Eugenio Coréa²
Francisco Mesén³
Jonathan Cornelius⁴

RESUMEN

El documento presenta un resumen de las principales actividades de investigación, desarrollo, capacitación y enseñanza del Proyecto de Mejoramiento Genético Forestal del CATIE. Se definen los objetivos, las especies y las zonas ecológicas de trabajo. Se describen las áreas de investigación básica y aplicada en conservación y mejoramiento genético así como las actividades en capacitación, enseñanza y difusión de la tecnología y la información.

INTRODUCCION

A pesar de los esfuerzos realizados en los últimos años, la deforestación continúa siendo un problema grave en América Central. Esta conlleva a la pérdida de valiosos recursos genéticos y produce los importantes y conocidos efectos negativos sobre las comunidades humanas y el medio ambiente. La deforestación constituye además una seria amenaza sobre la actividad económica del sector forestal. Ante el eventual agotamiento de los bosques productores en muchas áreas de la región, la industria maderera entraría en un período de crisis que, entre otros efectos, generaría una fuerte presión adicional sobre los ecosistemas naturales legalmente protegidos. Por otra parte, la alternativa de importar productos forestales de fuera de la región aumentaría el grado de dependencia y la salida de divisas, con el consiguiente perjuicio para la economía de los países.

Ante esta situación, los gobiernos de la región y varios organismos de ayuda internacional han puesto un gran aporte técnico y económico para promocionar y desarrollar el cultivo de especies forestales. Como resultado, la tasa de reforestación ha aumentado en los últimos años y la tendencia parece mantenerse. Sin embargo, gran parte de las plantaciones no han producido los resultados esperados, con las consiguientes pérdidas ecológicas y económicas y el efecto colateral de desestímulo a la reforestación. La experiencia en América Central y en muchos países tropicales ha demostrado que una de las principales razones para el fracaso, o la baja productividad de plantaciones forestales, ha sido el uso de germoplasma inadecuado. Es indispensable incorporar definitivamente el componente genético como un elemento esencial de cultivo de árboles, si se quiere lograr un desarrollo acelerado y sostenible del

¹Adaptado del Boletín Informativo sobre Recursos Naturales Renovables El Chasquí, No. 28. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1992.

²Genetista Forestal, Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

³Genetista Forestal, Líder Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

⁴Genetista Forestal, Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE, Turrialba, Costa Rica/Oficial de Cooperación Técnica, Administración Británica de Desarrollo en Ultramar.

sector forestal de la región.

El potencial del mejoramiento genético forestal es enorme. El hecho de partir de poblaciones silvestres con una altísima variación genética implica grandes posibilidades de selección y mejoramiento. Esta situación ha sido comprendida y aprovechada por varios países tropicales que cuentan con programas muy exitosos. Por ejemplo, en el Congo se logró triplicar la producción de volumen de madera con clones altamente seleccionados de híbridos de varios *Eucalyptus*. En Brasil y en Colombia se han obtenido resultados similares y los árboles son cosechados actualmente a los seis años de edad en varias compañías.

En América Central la actividad en mejoramiento genético forestal ha venido creciendo en los últimos años, aunque no con la velocidad y continuidad requerida. Muchas de las acciones han sido puntuales y de efecto limitado. Es necesario y urgente desarrollar e implementar una estrategia regional integral para la conservación, desarrollo y uso de los recursos genéticos forestales.

EL PROYECTO

El Proyecto Mejoramiento Genético Forestal (MGF) es ejecutado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y financiado por el Ministerio Noruego de Cooperación para el Desarrollo (MDC), la Administración Británica para el Desarrollo en Ultramar (ODA) y la Agencia para el Desarrollo Internacional (AID) de los Estados Unidos. Los principales objetivos del proyecto son:

1. La identificación y desarrollo de germoplasma genéticamente superior.
2. El desarrollo de técnicas de propagación vegetativa de bajo costo, apropiadas para programas rurales.
3. La conservación genética de especies o poblaciones amenazadas.
4. La capacitación en el área del mejoramiento genético forestal.
5. La difusión de tecnología e información.

El Proyecto MGF ha sido un proyecto pionero en la región desde que inició sus actividades en 1977. Durante los primeros años, el trabajo estuvo dirigido principalmente hacia la prueba y selección de especies y procedencias de pinos tropicales. Desde entonces el Proyecto MGF ha ampliado sustancialmente su ámbito de acción, tratando de satisfacer las múltiples necesidades de la región centroamericana. El crecimiento del Proyecto ha ocurrido principalmente en los siguientes aspectos:

1. Una mayor diversidad de zonas ecológicas en donde se trabaja.
2. Un aumento significativo en el número de especies.
3. Un mayor número de áreas de investigación básica y aplicada en conservación, mejoramiento y genética forestal.
4. Capacitación y enseñanza.
5. Divulgación de la información.

1. Zonas ecológicas

Hasta la fecha el Proyecto MGF ha establecido 90 unidades experimentales de campo, que abarcan una gran variedad de condiciones climáticas y edáficas. Los ensayos han sido plantados en suelos que van desde compactados, muy ácidos, fuertemente lixiviados y erosionados hasta suelos fértiles apropiados para sistemas forestales y agroforestales altamente productivos. Las zonas ecológicas abarcan desde el bosque seco tropical hasta el bosque pluvial tropical y el bosque nublado montano.

2. Las especies

En los últimos años, a través de varios proyectos nacionales y regionales, se ha identificado un gran número de especies con potencial. Sin embargo, muchas se encuentran todavía en la fase de validación o no han cumplido aún su primer ciclo de rotación. La experiencia acumulada en la región no permite, en muchos casos, definir con certeza cuál especie es la más apropiada. Este hecho, sumado a la alta diversidad ecológica, los múltiples objetivos de producción y las posibles fluctuaciones del mercado, han determinado que el Proyecto MGF trabaje con un gran número de especies, tratando de cubrir el mayor ámbito de situaciones posibles. La idea es mantener un abanico amplio de opciones abiertas, en vez de concentrar los esfuerzos en unas pocas especies. De esta forma, se beneficia, además, a un mayor número de usuarios y no solamente a algunas compañías reforestadoras. Actualmente se trabaja con 18 especies de las cuales 11 son nativas de América Central (Cuadro 1).

Cuadro 1. Especies y áreas de investigación del Proyecto MGF

Especies	Exploración y selección	Conservación	Selección procedencias	Selección descendencias	Huertos Semilleros	Propagación vegetativa
<i>Acacia mangium</i>		x	x			x
<i>Albizia guachapele</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Alnus acuminata</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Araucaria hunsteinii</i>		x	x			x
<i>Bombacopsis quinata</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Cedrela odorata</i>	x	x	x	x		x
<i>Cordia alliodora</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Cupressus lusitanica</i>	x	x		x	x	
<i>Eucalyptus deglupta</i>	x	x		x	x	x
<i>Eucalyptus grandis</i>		x	x	x	x	
<i>Eucalyptus saligna</i>			x			
<i>Eucalyptus urophylla</i>		x	x			
<i>Gmelina arborea</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Pinus caribaea</i>		x	x	x		
<i>Pinus oocarpa</i>		x	x	x		
<i>Pinus tecunumanii</i>	x	x	x	x	x	
<i>Swietenia macrophylla</i>	x	x	x	x		x
<i>Vochysia hondurensis</i>	x	x	x	x	x	x

3. Areas de investigación

En la actualidad se trabaja en seis áreas prioritarias de investigación:

- a) Exploración, selección y conservación de germoplasma
- b) Selección de procedencias
- c) Selección de descendencias
- d) Selección por resistencia contra el barrenador de las meliáceas
- e) Desarrollo de técnicas de propagación vegetativa de bajo costo
- f) Desarrollo de técnicas de selección temprana

a) Exploración, selección y conservación de germoplasma.

Consciente de la pérdida acelerada de los recursos genéticos forestales de la región, el Proyecto MGF ha desarrollado una labor pionera de exploración, rescate y conservación *ex-situ* de las poblaciones e individuos únicos y amenazados. En este sentido, el Proyecto ha trabajado en estrecha colaboración con la Cooperativa de Recursos Genéticos Forestales de Centroamérica y México (CAMCORE), el Instituto Forestal de Oxford (OFI) y el Instituto de Ecología Terrestre de Escocia (ITE), en un esfuerzo regional inter-institucional por conservar, evaluar y utilizar dicho germoplasma.

Hasta la fecha, el Proyecto MGF ha seleccionado más de 500 árboles superiores (plus) de 38 procedencias de 11 especies de las cuales 9 son nativas de América Central (Cuadro 1). Este germoplasma, junto con las selecciones y recolecciones realizadas por CAMCORE, OFI y proyecto en forma de semilla, bancos de conservación, ensayos genéticos, huertos semilleros, plantaciones de validación y plantaciones semilleras. Todas estas opciones funcionan en mayor o menor grado como unidades de conservación *ex-situ*.

Las actividades de conservación *ex-situ* del Proyecto MGF abarcan también especies exóticas de mucha importancia para la región, tales como *Acacia mangium*, *Gmelina arborea* y varias especies de *Eucalyptus*.

Por otra parte, durante las actividades de exploración, selección y recolección, el Proyecto MGF ha efectuado una importante labor de formento de la conservación *in-situ* de rodales o árboles valiosos o con características únicas, a través de la concientización de comunidades y principalmente de los propietarios de dicho material. En muchos casos, los propietarios se muestran muy interesados y orgullosos de contribuir a la preservación de los recursos genéticos forestales. En otros casos, la necesidad inmediata de obtener ingresos ha sido más fuerte.

b) Selección de procedencias

Generalmente las poblaciones de una especie presentan diferencias genéticas que afectan caracteres de importancia económica. Las diferencias pueden ser desde pequeñas hasta dramática. Por ejemplo, en Costa Rica el Proyecto MGF ha encontrado diferencias de hasta 400% en producción de madera entre procedencias de especies de pinos:

Hasta la fecha, el Proyecto MGF ha establecido más de 50 ensayos de procedencias de 16 especies (Cuadro 1) lo que ha permitido la selección de procedencias superiores para la reforestación y para la continuación del proceso de mejoramiento. Con las procedencias seleccionadas se han establecido plantaciones piloto para evaluar su comportamiento bajo condiciones normales de manejo, para la producción de material para futuras selecciones y para su eventual conversión en rodales semilleros.

c) Selección de descendencias

Normalmente, una vez identificadas las mejores procedencias se seleccionan árboles plus dentro de las mismas o en plantaciones derivadas de ellas. El valor genético de éstos árboles se evalúa y se compara a través del comportamiento de su progenie. Esto se logra mediante el establecimiento en el campo de ensayos de descendencias, conocidos también como ensayos de familias o ensayos de progenie. En ocasiones es posible establecer ensayos de procedencias/descendencias en donde se evalúan varias procedencias y varias familias de cada procedencia al mismo tiempo, acelerando así el proceso de mejoramiento.

Los ensayos de descendencias tienen la ventaja de que pueden ser convertidos en huertos semilleros al final de período de evaluación. Esto se logra mediante la selección de los mejores árboles de las mejores familias (de las mejores procedencias) para la producción de semilla mejorada. También se pueden seleccionar árboles para establecer huertos semilleros clonales o para generar clones superiores para uso operacional en silvicultura clonal.

Actualmente, el Proyecto MGF trabaja en la evaluación de descendencias de 14 especies (Cuadro 1) y ha establecido 31 ensayos de campo. Esta actividad aumentará fuertemente en los próximos años.

d) Selección por resistencia contra el barrenador de las meliáceas

Con seguridad, la razón principal para que en América Tropical no se planten intensivamente las especies de cedros y caobas nativas en lugar de otras especies menos valiosas, es el ataque del barrenador *Hypsipyla grandella*. Se han realizado muchos esfuerzos para controlar esta plaga sin resultados económicamente aplicables.

El Proyecto MGF ha retomado el problema y ha iniciado la búsqueda de genotipos resistentes o con una alta capacidad de recuperación al ataque, principalmente en *Cedrela odorata* y *Suietenia macrophylla*. Para ello, se han establecido ensayos de procedencias y descendencias con estas especies y los resultados después de un año de evaluación son realmente promisorios. Si estos resultados se mantienen, el Proyecto pretende y está en capacidad de desarrollar poblaciones y principalmente clones resistentes y altamente productivos, a un plazo relativamente corto. Indudablemente, el efecto que esto produciría en la actividad forestal de la región sería muy significativo.

e) Desarrollo de técnicas de propagación vegetativa de bajo costo

El desarrollo de la silvicultura clonal ha sido sin duda el logro más importante de las grandes empresas forestales durante los últimos quince años. Sin embargo, la tecnología generada por estas compañías no ha estado disponible ni es apropiada para programas de desarrollo rural.

El Proyecto cree firmemente que el pequeño y mediano agricultor no solo merece que se le brinde mejor material genético, sino que también se le proporcione las técnicas necesarias para su utilización óptima. Por esta razón, en cooperación con el Instituto de Ecología Terrestre de Escocia, se ha desarrollado un sistema simple y barato de propagación vegetativa que puede ser fácilmente utilizado por los agricultores. El sistema consiste en propagadores sin aspersión, de fácil construcción, hechos de madera y plástico, que no necesitan electricidad, agua de cañería o sistemas de riego, por lo que pueden ser construídos e instalados a muy bajo costo en cualquier zona rural. Hasta el momento el Proyecto ha probado este sistema con 11 especies (Cuadro 1) logrando porcentajes de enraizamiento generalmente superiores al 80%. Esta técnica es también sumamente útil para la conservación de germoplasma valioso de especies tropicales.

f) Desarrollo de técnicas de selección temprana

El período de evaluación de germoplasma forestal en experimentos de campo es generalmente largo en comparación con la mayoría de los cultivos agrícolas. Como alternativa, el Proyecto MGF está iniciando el desarrollo de técnicas de selección temprana, fundamentadas en la existencia de posibles correlaciones entre las características morfológicas y fisiológicas de la planta en vivero y su posterior comportamiento en el campo. La aplicación de técnicas de selección temprana no elimina la fase de evaluación de germoplasma en experimentos de campo, pero sí reduce el número de genotipos a evaluar a un grupo selecto con una mayor probabilidad de tener un comportamiento superior en campo. Para aquellas características que muestren una alta correlación, las ganancias genéticas que se obtengan a través de la selección temprana serán muy importantes.

La selección temprana sería muy útil también en los viveros tradicionales de la región y tendría un impacto importante en las plantaciones operacionales.

4. Capacitación y enseñanza

Indudablemente, la formación y capacitación de profesionales, técnicos y reforestadores en general es fundamental para el desarrollo forestal de la región. Sin embargo, los programas de las instituciones de educación generalmente no han incorporado el componente genético como un elemento esencial de la silvicultura y del manejo forestal. Las consecuencias de este vacío de formación han sido evidente en muchos proyectos de reforestación.

Ante esta situación, el Proyecto MGF ha desarrollado un programa de capacitación y enseñanza dirigido especialmente a profesionales y técnicos que laboran en instituciones de educación superior, proyectos de mejoramiento y reforestación y bancos de semillas. El programa incluye un curso corto anual sobre técnicas de mejoramiento, entrenamiento en servicio y la formación de profesionales a nivel de pregrado y posgrado mediante el curso del programa de maestría de CATIE sobre "Genética y Mejoramiento Forestal", la conducción de tesis y trabajos especiales. También se ha preparado un manual sobre "Mejoramiento Genético Forestal con Referencia Especial a América Central" el cual sirve de texto para los cursos de posgrado y capacitación. Este manual será publicado próximamente como libro.

5. Divulgación de información

El Proyecto MGF tiene entre sus objetivos poner al alcance del mayor número posible de usuarios la información generada y fomentar el flujo de información entre las instituciones involucradas en el desarrollo forestal de la región. La divulgación de la información se realiza a través de publicaciones en la prensa, series técnicas, charlas, artículos en revistas y boletines, etc.

Por otra parte, también se publica y distribuye gratuitamente el noticiero "Mejoramiento Genético y Semillas Forestales para América Central" que ha funcionado como un canal efectivo para la difusión de la información sobre el tema en los países de la región. Este noticiero ha tenido gran aceptación, incluso más allá de América Central. Actualmente se distribuye a 1000 usuarios en más de 25 países en todo el mundo.

EL FUTURO

Hasta ahora, principalmente por razones de presupuesto, la mayor parte de las actividades de investigación de campo del Proyecto MGF han estado concentradas en Costa Rica. Sin embargo, el Proyecto está diseñando una estrategia de expansión al resto de los países de la región de tal forma que se aproveche la experiencia obtenida durante los 15 años de actividad en Costa Rica.

En el área de producción de semilla mejorada el Proyecto MGF contará pronto con una amplia red de huertos semilleros y plantaciones semilleras de procedencias superiores para la mayoría de las especies prioritarias. El Proyecto MGF considera que en el futuro estos huertos y plantaciones deberían ser manejados por los bancos nacionales de semillas forestales para llenar las necesidades de los países.

Por otra parte, la primera fase para el desarrollo de una silvicultura clonal adecuada a las condiciones de los agricultores de América Central ya ha sido concluida. El Proyecto cuenta ahora con técnicas simples y baratas para la propagación exitosa y masiva de casi todas sus especies prioritarias. El siguiente paso será la transferencia de dicha tecnología y la identificación y desarrollo de clones superiores. En este sentido, el Proyecto MGF está diseñando una estrategia que contemple la participación de instituciones nacionales y organizaciones rurales en el desarrollo de una silvicultura clonal para pequeño y mediano agricultor. Esto incluye en una primera fase la participación activa del CATIE en el diseño de estrategias de mejoramiento, capacitación y supervisión técnica en programas pilotos de aplicación de la silvicultura clonal con grupos organizados de agricultores. Estos programas brindarían las bases para el desarrollo y aplicación de una estrategia general.

El Proyecto MGF continuará ampliando y fortaleciendo sus actividades de capacitación y enseñanza y el área de difusión de la información. En este sentido se estimulará una mayor participación de los técnicos y decisores en los programas de capacitación y enseñanza así como en la publicación de sus actividades e investigaciones sobre el manejo y utilización de los recursos genéticos forestales.



**EL PROYECTO MEJORAMIENTO
GENETICO FORESTAL DEL CATIE Y SU
PAPEL EN LA REGION
CENTROAMERICANA**

Eugenio Corea 1/
Francisco Mesén 2/
Jonathan Cornelius 3/

INTRODUCCION

A pesar de los esfuerzos realizados en los últimos años, la deforestación continúa siendo un problema grave en América Central. Esta conlleva, además de los conocidos e importantes efectos negativos sociales y ambientales, una seria amenaza sobre la actividad económica del sector forestal. Ante el eventual agotamiento de los bosques productores de la región, la industria maderera entraría en un período de crisis que, entre otros efectos, generaría una fuerte presión adicional sobre las áreas naturales legalmente protegidas. Por otra parte, la alternativa de importar productos forestales aumentaría el grado de dependencia y la salida de divisas, con el consiguiente perjuicio para la economía de los países.

Ante esta situación, los gobiernos de la región y varios organismos de ayuda internacional han puesto un gran aporte técnico y económico para promocionar y desarrollar el cultivo de especies forestales. Como resultado, la tasa de reforestación ha aumentado en los últimos años y la tendencia parece mantenerse. Sin embargo, gran parte de las plantaciones no han mostrado los resultados esperados, con las consiguientes pérdidas ecológicas y económicas y el efecto colateral de desestímulo a la reforestación. La experiencia en América Central y en muchos países tropicales ha demostrado que una de las principales razones para el fracaso o la baja productividad de plantaciones forestales ha sido el uso de

germoplasma inadecuado. Es indispensable incorporar definitivamente el componente genético como un elemento esencial del cultivo de árboles, si se quiere lograr un desarrollo acelerado y sostenible del sector forestal de la región.

El potencial del mejoramiento genético forestal es enorme. Esta situación ha sido comprendida y aprovechada por varios países tropicales que cuentan con programas muy exitosos. Por ejemplo, en el Congo se logró triplicar la producción del volumen de madera con clones altamente seleccionados de híbridos de varias especies de *Eucalyptus*. En Brasil y en Colombia se han obtenido resultados similares y los árboles son cosechados actualmente a los seis años de edad en varias compañías.

En América Central la actividad en mejoramiento genético forestal ha venido creciendo en los últimos años, aunque no con la velocidad y continuidad requerida. Muchas de las acciones han sido puntuales y de efecto limitado. Es necesario y urgente desarrollar e implementar una estrategia regional integral para la conservación, desarrollo y uso de los recursos genéticos forestales.

EL PROYECTO

El Proyecto Mejoramiento Genético Forestal -PMGF es ejecutado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE y financiado por el Ministerio Noruego de Cooperación para el Desarrollo-MDC, la Administración Británica para el Desarrollo en Ultramar-ODA y la Agencia para el Desarrollo Internacional-AID de los Estados Unidos. Los principales objetivos del proyecto son:

- 1) La identificación y desarrollo de germoplasma genéticamente superior.
- 2) El desarrollo de técnicas de propagación vegetativa de bajo costo, apropiadas para programas rurales.
- 3) La conservación genética de especies o poblaciones amenazadas.
- 4) La capacitación en el área de mejoramiento genético forestal.
- 5) La difusión de tecnología e información.

1/ Genetista Forestal, Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE.
2/ Genetista Forestal y Lider, Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE.
3/ Genetista Forestal, Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE / Oficial de Cooperación Técnica, Administración Británica para el Desarrollo en Ultramar (ODA)



EL CHASQUI

El PMGF ha sido un proyecto pionero en la región desde que inició sus actividades en 1977. Durante los primeros años, el trabajo estuvo dirigido principalmente hacia la prueba y selección de especies y procedencias de pinos tropicales. Desde entonces el PMGF ha ampliado sustancialmente su ámbito de acción, tratando de satisfacer las múltiples necesidades de la región centroamericana. El crecimiento ha ocurrido principalmente en los siguientes aspectos:

- 1) Una mayor diversidad de zonas ecológicas en donde se trabaja.
- 2) Un aumento significativo en el número de especies.
- 3) Un mayor número de áreas de investigación básica y aplicada en conservación, mejoramiento y genética forestal.
- 4) Capacitación y enseñanza.
- 5) Divulgación de la información.

1. Zonas ecológicas

Hasta la fecha el PMGF ha establecido 90 unidades experimentales de campo, que abarcan una gran variedad de condiciones climáticas y edáficas. Los ensayos han sido plantados en suelos que van desde compactados, muy ácidos, fuertemente lixiviados y erosionados hasta suelos fértiles apropiados para sistemas forestales y agroforestales altamente productivos. Las zonas ecológicas abarcan desde el bosque seco tropical hasta el bosque pluvial tropical y el bosque nublado montano.

2. Las especies

En los últimos años, a través de varios proyectos nacionales y regionales, se ha identificado un gran número de especies con potencial. Sin embargo, muchas se encuentran todavía en la fase de validación o no han cumplido aún su primer ciclo de rotación. La experiencia acumulada en la región no permite, en muchos casos, definir con certeza cuál especie es la más apropiada. Este hecho, sumado a la alta diversidad ecológica, los múltiples objetivos de producción y las posibles

fluctuaciones del mercado, han determinado que el PMGF trabaje con un gran número de especies, tratando de cubrir el mayor ámbito de situaciones posibles. La idea es mantener un abanico amplio de opciones abiertas, en vez de concentrar los esfuerzos en unas pocas especies. De esta forma, se beneficia, además, a un mayor número de usuarios y no solamente a algunas compañías reforestadoras. Actualmente se trabaja con 18 especies de las cuales 11 son nativas de América Central (Cuadro 1).

3. Areas de investigación

En la actualidad se trabaja en seis áreas prioritarias de investigación:

- a) Exploración, selección y conservación de germoplasma.
 - b) Selección de procedencias.
 - c) Selección de descendencias.
 - d) Selección por resistencia contra el barrenador de las meliáceas.
 - e) Desarrollo de técnicas de propagación vegetativa de bajo costo.
 - f) Desarrollo de técnicas de selección temprana.
-
- a) Exploración, selección y conservación de germoplasma.

Consciente de la pérdida acelerada de los recursos genéticos forestales de la región, el PMGF ha desarrollado una labor pionera de exploración, rescate y conservación *ex-situ* de poblaciones e individuos únicos y amenazados. En este sentido, el Proyecto ha trabajado en estrecha colaboración con la Cooperativa de Recursos Genéticos Forestales de Centroamérica y México-CAMCORE, el Instituto Forestal de Oxford-OFI y el Instituto de Ecología Terrestre de Escocia-ITE, en un esfuerzo regional inter-institucional por conservar, evaluar y utilizar dicho germoplasma.

EL CHASQUI



Cuadro 1. Especies y áreas de investigación del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal.

Especies	Exploración y selección	Conservación	Selección procedencias	Selección descendencias	Huertos semilleros	Propagación vegetativa
<i>Acacia mangium</i>		x	x			x
<i>Albizia guachapele</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Alnus acuminata</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Araucaria hunsteinii</i>		x	x			x
<i>Bombacopsis quinata</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Cedrela odorata</i>	x	x	x	x		x
<i>Cordia alliodora</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Cupressus lusitanica</i>	x	x		x	x	
<i>Eucalyptus deglupta</i>	x	x		x	x	x
<i>Eucalyptus grandis</i>		x	x	x	x	
<i>Eucalyptus saligna</i>			x			
<i>Eucalyptus urophylla</i>		x	x			
<i>Gmelina arborea</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Pinus caribaea</i>		x	x	x		
<i>Pinus oocarpa</i>		x	x	x		
<i>Pinus tecunumanii</i>	x	x	x	x	x	
<i>Swietenia macrophylla</i>	x	x	x	x		x
<i>Vochystia hondurensis</i>	x	x	x	x	x	x

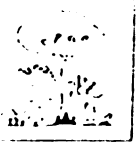
Hasta la fecha el PMGF ha seleccionado más de 400 árboles superiores (plus) de 32 procedencias, de nueve especies nativas en Costa Rica, Honduras y Trinidad-Tobago (Cuadro 1). Este germoplasma, junto con las selecciones y recolecciones realizadas por CAMCORE, OFI y el ITE en otras áreas de América Central y del Sur, está siendo conservado y evaluado por el Proyecto en forma de semilla, bancos de conservación, ensayos genéticos, huertos semilleros, plantaciones de validación y plantaciones semilleras. Todas estas opciones funcionan en mayor o menor grado como unidades de conservación *ex-situ*.

Las actividades de conservación *ex-situ* del PMGF abarcan también especies exóticas de mucha importancia para la región, tales como *A. mangium*, *G. arborea* y varias especies de *Eucalyptus*.

Por otra parte, durante las actividades de exploración, selección y recolección, el PMGF ha efectuado una importante labor de fomento de la conservación *in-situ* de rodales o árboles valiosos o con características únicas, a través de la concientización de comunidades y principalmente de los propietarios de dicho material. En muchos casos los propietarios se muestran muy interesados y orgullosos de contribuir a la preservación de los recursos genéticos forestales. En otros casos el poder del dinero de las industrias madereras ha sido más fuerte.

b) Selección de procedencias

Generalmente, las poblaciones de una especie presentan diferencias genéticas que afectan caracteres de importancia económica. Las diferencias pueden ser desde pequeñas hasta dramáticas. Por



EL CHASQUI

ejemplo, en Costa Rica el PMGF ha encontrado diferencias de hasta 400% en producción de madera entre procedencias de especies de pinos.

Hasta la fecha, el PMGF ha establecido más de 50 ensayos de procedencias de 16 especies (Cuadro 1) lo que ha permitido la selección de procedencias superiores para la reforestación y para la continuación del proceso de mejoramiento. Con las procedencias seleccionadas se han establecido plantaciones piloto con el fin de evaluar su comportamiento bajo condiciones normales de manejo, para la producción de material en futuras selecciones y su eventual conversión en rodales semilleros.

Selección de descendencias

Normalmente, una vez identificadas las mejores procedencias se seleccionan árboles plus dentro de las mismas. El valor genético de estos árboles se evalúa a través de ensayos de descendencias. Estos ensayos tienen la ventaja adicional de que pueden ser convertidos en huertos para la producción de semilla mejorada al final del periodo de evaluación.

Actualmente el PMGF trabaja en la evaluación de descendencias de 14 especies y ha establecido hasta hoy 30 ensayos de campo. Esta actividad aumentará fuertemente en los próximos años.

Selección por resistencia contra el barrenador de las meliáceas

Con seguridad, la razón principal para que en América Tropical no se planten intensivamente las especies de cedros y caobas nativas en lugar de otras especies menos valiosas, es el ataque del barrenador *Hypsipyla grandella*. Se han realizado muchos esfuerzos para controlar esta plaga sin resultados económicamente aplicables. Sin embargo, una vez más, el componente genético no ha sido considerado.

El PMGF ha retomado el problema y ha iniciado la búsqueda de genotipos resistentes o con una alta capacidad de recuperación al ataque, principalmente en *C. odorata* y *S. macrophylla*. Para ello se han establecido ensayos de procedencias-descendencias con estas especies y los resultados después de un año de evaluación son realmente promisorios. Si estos resultados se mantienen, el Proyecto pretende y está en capacidad de desarrollar poblaciones y principalmente clones resistentes y altamente productivos a un plazo relativamente corto. Indudablemente, el efecto que esto produciría en la actividad forestal de la región sería muy significativo.

e) Desarrollo de técnicas de propagación vegetativa de bajo costo

El desarrollo de la silvicultura clonal ha sido sin duda el logro más importante de las grandes empresas forestales durante los últimos quince años. Sin embargo, la tecnología generada por estas compañías no ha estado disponible ni es apropiada para programas de desarrollo rural.

El Proyecto cree firmemente que el pequeño y mediano agricultor no sólo merece que se le brinde el mejor material genético sino que también se le proporcionen las técnicas necesarias para su utilización óptima. Por esta razón, en cooperación con el Instituto de Ecología Terrestre de Escocia, se ha desarrollado un sistema simple y barato de propagación vegetativa que puede ser fácilmente utilizado por los agricultores. El sistema consiste en propagadores sin asperción, de fácil construcción, hechos de madera y plástico, que no necesitan electricidad, agua de cañería o sistemas de riego, por lo que pueden ser construidos e instalados a muy bajo costo en cualquier zona rural. Hasta el momento el Proyecto ha probado este sistema con 11 especies (Cuadro 1) logrando porcentajes de enraizamiento generalmente superiores al 80%. Esta

EL CHASQUI



técnica es también sumamente útil para la conservación de germoplasma valioso de especies tropicales.

f) Desarrollo de técnicas de selección temprana

El período de evaluación de germoplasma forestal en experimentos de campo es generalmente largo en comparación con la mayoría de los cultivos agrícolas. Como alternativa, el PMGF está iniciando el desarrollo de técnicas de selección temprana fundamentadas en la existencia de posibles correlaciones entre las características morfológicas y fisiológicas de la planta en vivero y su posterior comportamiento en el campo. La aplicación de técnicas de selección temprana no elimina la fase de evaluación de germoplasma en experimentos de campo, pero sí reduce el número de genotipos a evaluar a un grupo selecto con una mayor probabilidad de tener un comportamiento superior en campo. Para aquellas características que muestren una alta correlación, las ganancias genéticas que se obtengan a través de la selección temprana serán muy importantes.

La selección temprana sería muy útil también en los viveros tradicionales de la región y tendría un impacto importante en las plantaciones operacionales.

4. Capacitación y enseñanza.

Indudablemente la formación y capacitación de profesionales, técnicos y reforestadores en general es fundamental para el desarrollo forestal de la región. Sin embargo, las instituciones de educación generalmente no han incorporado en sus programas el componente genético como un elemento esencial de la silvicultura y del manejo forestal. Las consecuencias de este vacío de formación han sido evidentes en muchos proyectos de reforestación.

En esta situación, el PMGF ha desarrollado un programa de capacitación y

enseñanza dirigido especialmente a profesionales y técnicos que laboran en instituciones de educación superior, proyectos de mejoramiento y reforestación y bancos de semillas. El programa incluye un curso corto anual sobre técnicas de mejoramiento, entrenamiento en servicio y la formación de profesionales a nivel de pregrado y posgrado mediante el curso del programa de maestría del CATIE sobre "Genética y Mejoramiento Forestal", la conducción de tesis y trabajos especiales. También se ha preparado un manual sobre "Mejoramiento Genético Forestal con Referencia Especial a América Central" el cual sirve de texto para los cursos de posgrado y capacitación. Este manual será publicado próximamente como libro.

5. Divulgación de información

El PMGF tiene entre sus objetivos poner la información generada al alcance del mayor número posible de usuarios y fomentar el flujo de información entre las instituciones involucradas en el desarrollo forestal de la región. La divulgación de la información se realiza a través de publicaciones en la prensa, series técnicas, charlas, artículos en revistas y boletines, etc.

Por otra parte, también se publica y distribuye gratuitamente el noticiero "Mejoramiento Genético y Semillas Forestales para América Central" que ha funcionado como un canal efectivo para la difusión de la información generada sobre el tema en los países de la región. Este noticiero ha tenido gran aceptación, incluso más allá de América Central. Actualmente se distribuye a 1000 usuarios en más de 25 países en todo el mundo.

EL FUTURO

Hasta ahora, principalmente por razones de presupuesto, la mayor parte de las actividades de investigación de campo del PMGF han estado concentradas en Costa Rica. Sin embargo, el Proyecto está diseñando una estrategia de expansión al resto de los países de la región de tal forma que se aproveche la experiencia obtenida durante los 15 años de actividad en Costa Rica.

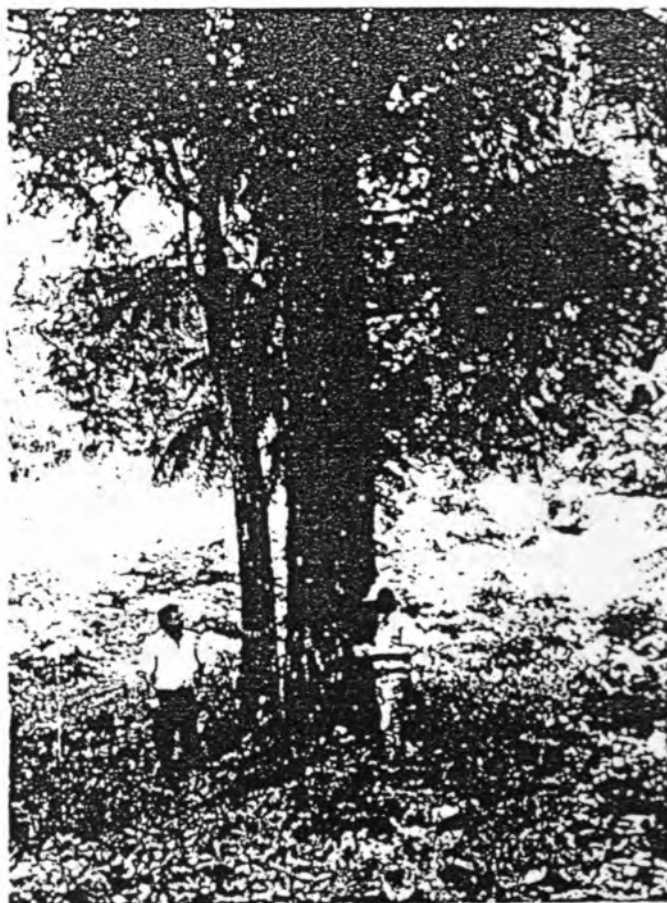


EL CHASQUI

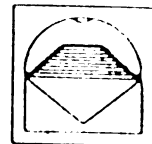
En el área de producción de semilla mejorada el PMGF contará pronto con una amplia red de huertos semilleros y plantaciones semilleras de procedencias superiores para la mayoría de las especies prioritarias. El PMGF considera que en el futuro estos huertos y plantaciones deberían ser manejados por los bancos nacionales de semillas forestales para llenar las necesidades de los países.

Por otra parte, la primera fase para el desarrollo de una silvicultura clonal adecuada a las condiciones de los agricultores de América Central ya ha sido concluida. El Proyecto cuenta ahora con técnicas simples y baratas para la propagación exitosa y masiva de todas sus especies prioritarias. El siguiente paso será la transferencia de dicha tecnología y la identificación y desarrollo de clones superiores. En este sentido se está diseñando una estrategia que contemple la participación de instituciones nacionales y organizaciones rurales en el desarrollo de una silvicultura clonal para el pequeño y mediano agricultor. Esto incluye en una primera fase la participación activa del CATIE en el diseño de estrategias de mejoramiento, capacitación y supervisión técnica en programas pilotos de aplicación de la silvicultura clonal con grupos organizados de agricultores. Estos programas piloto brindarían las bases para el desarrollo y aplicación de una estrategia general.

El PMGF continuará ampliando y fortaleciendo sus actividades de capacitación y enseñanza y el área de difusión de la información. En este sentido se estimulará una mayor participación de los técnicos y decisores en los programas de capacitación y enseñanza así como en la publicación de sus actividades e investigaciones en manejo y utilización de los recursos genéticos forestales. ■



La selección de árboles superiores, como el *Albizia guachapele* que se muestra en la foto, y la recolección de sus semillas son algunas de las actividades principales del Proyecto MGF dirigidas a la conservación, mejoramiento y uso de especies valiosas nativas de América Central.



MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL EN AMERICA CENTRAL: ESTRATEGIAS APROPIADAS, PREOCUPACIONES, Y EL CAMINO POR RECORRER

Jonathan Corneliuss ^{1/}
Francisco Mesén ^{2/}
Eugenio Corea ^{3/}

Estrategias

En la actualidad, se reconoce ampliamente la importancia del mejoramiento genético en el desarrollo del sector forestal en América Central. Sin embargo, aún existe discusión sobre su papel exacto en la región y las técnicas más apropiadas para llevarlo a cabo. Todavía se escuchan comentarios tales como "la cantidad de reforestación en la región no justifica programas de mejoramiento genético avanzado". En el Proyecto Mejoramiento Genético Forestal-PMGF, se considera que justamente la ausencia de programas avanzados de mejoramiento genético es una de las causas de la poca reforestación en la región; un agricultor que vea fracasar su plantación forestal o la de su vecino difícilmente podrá ser convencido de que invierta en reforestación. La posición del PMGF en este aspecto siempre ha sido muy clara y ligada estrechamente a la filosofía del Plan Estratégico del CATIE: la planificación de estrategias de mejoramiento no debe estar atada a las estimaciones de reforestación en la región, puesto que esto conduce inevitablemente a un círculo vicioso: El mejoramiento genético forestal debe romper este círculo mediante su estímulo directo a la actividad forestal, la producción de nuevas tecnologías y nuevas opciones para el desarrollo.

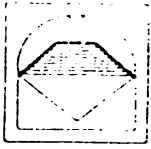
Para que tenga un impacto significativo, el mejoramiento genético forestal en la región no puede limitarse únicamente a la identificación de fuentes de semilla "adecuadas" o "confiables".

- 1/ Genetista Forestal, Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE / Oficial de Cooperación Técnica, Administración Británica para el Desarrollo en Ultramar (ODA).
- 2/ Genetista Forestal y Líder, Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE.
- 3/ Genetista Forestal, Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE.

Se necesita una respuesta que sea proporcional a la escala del problema: los agricultores de América Central necesitan material reproductivo forestal de excelente calidad genética. El PMGF cree que esta meta se puede lograr únicamente a través de programas agresivos de selección individual, comprobación y utilización de los mejores genotipos. A pesar de su gran importancia, la selección de procedencias por sí sola no puede lograr la meta, porque hasta las mejores procedencias contienen enorme variación genética en los caracteres de interés económico; la naturaleza selecciona por el valor adaptativo, no directamente por productividad y menos aún por el valor calorífico o la rectitud del fuste.

Los avances más importantes en la tecnología forestal deben estar disponibles a los finqueros pequeños. Sin la menor duda, el impacto más importante en el aumento de la calidad y la productividad forestal de las últimas dos décadas ha sido la silvicultura clonal. En Brasil ya existen clones de *Eucalyptus grandis* y del híbrido 'urograndis' capaces de producir 70 m³ ha⁻¹ año⁻¹. No es aceptable que tales ventajas estén disponibles sólo para las compañías grandes y no también para los finqueros pequeños. Anteriormente, la necesidad de equipo caro y especializado obstaculizaba la implementación de la silvicultura clonal en programas de mejoramiento genético forestal para pequeños agricultores. Ahora, debido al desarrollo de técnicas de propagación eficientes y de bajo costo, este obstáculo ya no existe. El PMGF está trabajando no únicamente en el refinamiento de técnicas de propagación y selección clonal, sino también en el diseño de estrategias para el uso de esta tecnología por parte de los agricultores pequeños.

Las plantaciones comerciales de clones genéticamente comprobados representan un extracto de los mejores genotipos de la población central de mejoramiento del programa; en esta última, los métodos sexuales ocupan una posición esencial ya que únicamente a través de la recombinación genética es posible crear nuevas combinaciones y mantener programas de mejoramiento genético a largo plazo. Por esta razón, el PMGF mantiene y pretende continuar



EL CHASQUI

un programa intensivo de selección individual y comprobación genotípica mediante ensayos de descendencias. A través de estos ensayos se asegura una ganancia genética continua y acumulativa, tanto en las poblaciones base como en las poblaciones de producción de semilla mejorada; al mismo tiempo, se construye una base cada vez mejor para la selección de clones superiores.

Si bien la problemática centroamericana requiere de innovación y el uso de tecnología apropiada a las circunstancias, es necesario también tomar muy en cuenta la experiencia acumulada de los primeros sesenta años de mejoramiento genético forestal científico. Los genetistas forestales saben de esta experiencia, que el componente más importante en el éxito de un programa de mejoramiento genético es la existencia de experimentos de campo comprensivos y bien diseñados. Estos forman la actividad central del PMGF. Sería muy conveniente si se pudiera estimar la calidad genética de una familia o un clon sin necesidad de la etapa de evaluación de campo, pero, hasta ahora, lastimosamente esto no es posible. Vale la pena recalcar que experimentos "bien diseñados" en el sentido más amplio significa no simplemente que el error residual del experimento sea bajo, sino también que las condiciones del sitio y los tratamientos bajo evaluación permitan la aplicación de los resultados a los sitios de plantación operativa. La expresión "genéticamente superior" no significa nada sin referirse a un juego de condiciones ambientales. Se han dado varios ejemplos en América Central en los cuales se han establecido experimentos sin definir las condiciones de los sitios a los cuales se pretende hacer inferencias con base en dichos experimentos. También hay otros casos donde después de definir los sitios de inferencia se procede a aplicar los resultados a otras áreas distintas. Cabe mencionar que este principio fundamental se aplica igualmente en el caso de los clones. Existe la creencia de que la clonación *per se* conlleva a ganancias genéticas. Este es un concepto erróneo; existen clones malos y regulares que deben ser eliminados según lo indiquen las pruebas clonales en el campo. De hecho, la propagación vegetativa del material es

la parte de menor costo en el proceso de selección clonal.

Preocupaciones

La concientización de la necesidad de mejoramiento genético entre los involucrados en reforestación debe ser otro componente vital en un proceso de mejoramiento. Aun los mejores proyectos de mejoramiento genético forestal tendrían impactos limitados si intentan funcionar en un contexto de ignorancia y falta de conciencia. Aunque ahora se escucha con mayor frecuencia términos como "procedencia", "fuente de semilla", "descendencia" y "clon", a veces el genetista forestal no queda completamente convencido de que los conceptos se entienden completamente. El desconocimiento de los aspectos genéticos de la silvicultura todavía es común a todo nivel. Existen aún ingenieros forestales que con toda autoridad alaban o condenan el "eucalipto", como si se tratara de una sola especie y no de un género con más de 450 especies. También es común escuchar frases como "el *Pinus oocarpa* no sirve en Costa Rica", olvidando que las diferencias entre dos procedencias de una misma especie pueden ser tan grandes o mayores que las diferencias entre dos especies. Para muchos técnicos forestales, la mención del término "procedencia" pareciera representar una intromisión inoportuna a su concepto de especie como una entidad genéticamente invariable. El PMGF está trabajando activamente para promover una mayor concientización sobre los aspectos genéticos de la silvicultura, a través del curso anual de capacitación, del noticiero "Mejoramiento Genético y Semillas Forestales para América Central" y de otras actividades de extensión y capacitación. Sin embargo, es obvio que se necesita un cambio profundo en la enseñanza de la carrera forestal para que sus profesionales puedan aprovechar mejor las oportunidades que ofrece el mejoramiento genético forestal. Ningún agrónomo sensato aceptaría el reto de generar un producto definido sin pedir información sobre la calidad y requerimientos del germoplasma disponible; es hora de que los silvicultores empleen a desarrollar una actitud similar. Es necesario quitarse de encima la herencia de los primeros



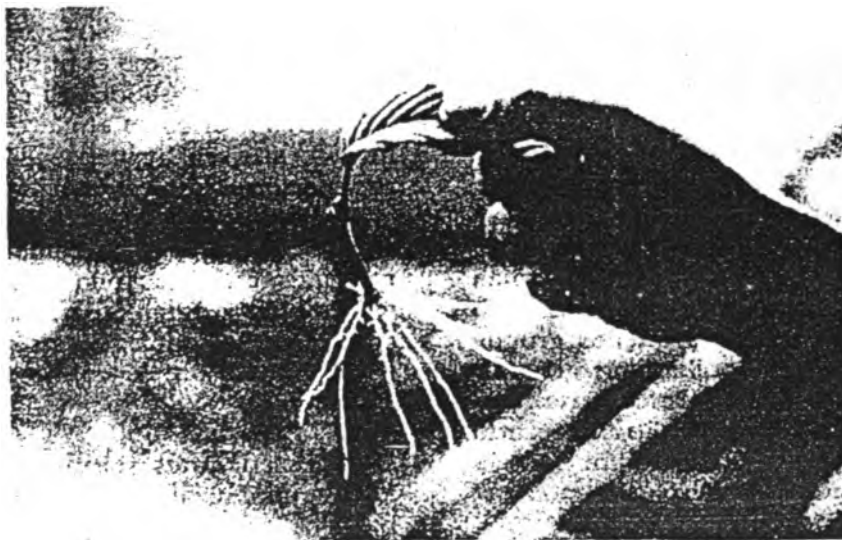
años de la profesión forestal, cuando el trabajo de un silvicultor consistía básicamente en manejar de la mejor manera posible lo que la naturaleza (modificada por el sistema silvicultural) proporcionara.

El futuro

Para el PMGF, la base del desarrollo futuro del mejoramiento genético forestal en América Central radica en la implementación de una estrategia integrada de manejo de recursos genéticos forestales, de la cual, el mejoramiento genético constituye solamente una parte. El componente fundamental de tal estrategia sería una red regional de unidades de manejo de recursos genéticos. Una unidad de este tipo podría ser cualquier tipo de población, desde una reserva silvestre con el fin exclusivo de conservación genética, hasta un jardín de multiplicación clonal, dirigido exclusivamente a la producción operacional de germoplasma mejorado. Entre estos extremos, habría una variedad de modalidades, tales como rodales semilleros, rodales remanentes, ensayos genéticos, huertos semilleros, etc., cada una

diferente en cuanto a su énfasis relativo en conservación de germoplasma y mejoramiento genético, pero todas con un papel definido y claro en relación con la estrategia global de manejo de los recursos genéticos de la especie.

Las zonas de mejoramiento (las unidades ambientales básicas del mejoramiento genético forestal) deben estar basadas en divisiones ecológicas, no en fronteras políticas. Por esta razón, entre otras, el manejo y la utilización óptima de nuestro recurso genético forestal requiere de una coordinación estrecha entre instituciones a nivel nacional e internacional. Es gratificante notar que la necesidad de una estrategia regional de manejo de recursos genéticos forestales está implícita en el Plan de Acción Forestal para América Central. En el PMGF se considera que la integración total de las actividades de conservación y manejo de los recursos forestales de la región es el único camino posible para el desarrollo forestal sostenible en la región centroamericana, y en este sentido el CATIE está llamado a colaborar con los países en la definición del camino. ■



Numerosas especies, como *A. acuminata* son fácilmente enraizadas mediante estacas juveniles en los propagadores de sub-irrigación.

ESTRATEGIAS, ACTIVIDADES Y PERSPECTIVAS DEL PROYECTO MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL DEL CATIE. Cornelius Jonathan, Corea Eugenio, Mesén Francisco. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1992.

En la actualidad, se reconoce ampliamente la importancia del mejoramiento genético en el desarrollo del sector forestal en Costa Rica. Sin embargo, aún existe incertidumbre y discusión sobre su papel exacto en el país y las técnicas más apropiadas para llevarlo a cabo. En la presente ponencia se presenta un desglose de las actividades que está desarrollando el Proyecto Mejoramiento Genético Forestal (PMGF) del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), dentro del marco de una exposición de la filosofía del Proyecto sobre el papel y potencial del mejoramiento genético forestal en el país.

Los principales objetivos del PMGF son:

1. La identificación y desarrollo de germoplasma genéticamente superior;
2. El desarrollo de técnicas de propagación vegetativa de bajo costo, apropiadas para programas rurales;
3. La conservación genética de especies o poblaciones amenazadas;
4. La capacitación en el área del mejoramiento genético forestal;
5. La difusión de tecnología e información.

Los objetivos y estrategias del PMGF se basan firmemente sobre las necesidades actuales y futuras del reforestador costarricense en cuanto a material genético. En un sentido, las estrategias son similares a muchos otros proyectos de mejoramiento genético forestal, en que el proyecto busca maximizar la ganancia genética a corto plazo, sin que esto limite las posibilidades a largo plazo. Sin embargo, rechazamos el concepto que la planificación de estrategias de mejoramiento debe estar atada a las estimaciones de reforestación en el país. Este enfoque es lógico para una empresa privada forestal, pero no corresponde a la situación de un país donde la reforestación, a pesar de su urgencia, se ve desmotivada por la baja calidad del material genético disponible. El mejoramiento genético forestal debe estimular directamente a la reforestación a través de la producción de nuevas tecnologías y nuevas opciones para el desarrollo. Esta consideración, junto con las normas de manejo de poblaciones de mejoramiento forestales, constituye la fundación de las estrategias y actividades del PMGF que se describen a continuación.

La poca experiencia con plantaciones forestales en Costa Rica, sumada a la alta diversidad ecológica, los múltiples objetivos de producción y las posibles fluctuaciones del mercado, han determinado que el PMGF trabaje con un gran número de especies, las cuales actualmente suman a 18, entre ellas siete especies nativas (Albizia guachapele, Alnus acuminata, Bombacopsis quinata, Cedrela odorata, Cordia alliodora, Swietenia macrophylla, Vochysia hondurensis) y 11 especies exóticas (Acacia mangium, Araucaria hunsteinii, Cupressus lusitanica, Eucalyptus deglupta, E. grandis, E. saligna, E. urophylla, Gmelina arborea, Pinus caribaea, P. oocarpa, y P. tecunumanii).

Con la mayoría de las especies, el primer paso ha sido los ensayos de procedencias. Generalmente las poblaciones de una especie presentan diferencias genéticas que afectan caracteres de importancia económica. Las diferencias pueden ser

desde pequeñas hasta dramáticas. Debido a esto, hasta la fecha el PMGF ha establecido más de 50 ensayos de procedencias de 16 especies.

Sin embargo, hasta las mejores procedencias contienen enorme variación genética entre árboles en los caracteres de interés económico. La naturaleza selecciona para el valor adaptativo, no directamente para características de interés para el hombre tales como productividad y menos aún por la rectitud del fuste. Por eso, el PMGF ha implementado con 14 especies otro nivel de mejoramiento: la selección de árboles plus y, posteriormente, la selección entre sus descendencias. El PMGF ha seleccionado más de 478 árboles plus en varias partes del país. Todos los árboles plus tienen forma casi perfecta y crecimiento (en el caso de selección en plantaciones) sobresalientes. Usando la semilla de estos árboles, se han establecido 30 ensayos de descendencias. Además, en algunas especies se recolectó material vegetativo de cada árbol plus, el cual se está estableciendo, a través de la injertación, en huertos semilleros clonales. Los ensayos de descendencias se usará para proveer información para escoger los mejores árboles plus para la producción de semilla mejorada en los huertos. Además, los mismos ensayos se convertirán en huertos semilleros de plántulas y también formarán la base de mejoramiento a largo plazo. Cabe subrayar que estos ensayos de descendencias no son simplemente 'parcelas experimentales' del PMGF, sino poblaciones con estructura genética conocida, cuyas riquezas genéticas constituyen un recurso manejado de inestimable valor para el país. Este recurso formará la base no solamente para la producción de semilla mejorada a corto plazo sino también para el desarrollo (domesticación) a lo largo de muchas generaciones. En este sentido, en estas poblaciones está la base genética para la futura reforestación de Costa Rica.

Tanto en el caso de los ensayos de procedencias como el de los ensayos de descendencias, se ha puesto mucho énfasis en la repetición de experimentos enteros sobre una variedad de condiciones ambientales. Tal repetición es esencial, porque los mejores genotipos en una zona ambiental no son necesariamente los mejores en otra zona diferente.

Estos métodos tradicionales han sido exitosos en un sinúmero de programas de mejoramiento genético forestal a nivel mundial. Sin embargo, el impacto más importante en el aumento de la calidad y la productividad forestal de las últimas dos décadas ha sido la silvicultura clonal. En Brasil ya existen clones de *E. grandis* y del híbrido 'urograndis' capaces de producir $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. No es aceptable que tales ventajas estén disponibles sólo para las compañías grandes y no para los finqueros pequeños. El Proyecto cree firmemente que el pequeño y mediano agricultor no sólo merece que se le brinde el mejor material genético sino que también se le proporcione las técnicas necesarias para su utilización óptima. Por esta razón, en cooperación con el Instituto de Ecología Terrestre de Escocia, se ha desarrollado un sistema simple y barato de propagación vegetativa que puede ser fácilmente utilizado por los agricultores. El sistema consiste en propagadores sin aspersión, de fácil construcción, hechos de madera y plástico, que no necesitan electricidad, agua de cañería o sistemas de riego, por lo que pueden ser construidos e instalados a muy bajo costo en cualquier zona rural. Dichos métodos permitirán la selección y propagación de clones genéticamente superiores. Asimismo, el PMGF está desarrollando técnicas de selección temprana para reducir el tiempo de evaluación de clones y otros tipos de material.

La concientización de la necesidad del mejoramiento genético entre los involucrados en reforestación debe ser otro componente vital en un proceso de mejoramiento. Aun los mejores proyectos de mejoramiento genético forestal tendrían impactos limitados si intentan funcionar en un contexto de falta de conocimiento dentro del sector forestal. El PMGF está trabajando activamente para promover una mayor concientización sobre los aspectos genéticos de la silvicultura, a través del curso anual de capacitación, el noticiero "Mejoramiento Genético y Semillas Forestales para América Central" y otras actividades de extensión y capacitación. Además, actualmente el PMGF está estableciendo una red de extensión compuesto por

profesionales claves en los campos de reforestación y semillas forestales. La información genética generada por el Proyecto será comunicada directamente a estos profesionales a través de contactos personales y un nuevo noticiero dedicado exclusivamente a esto.

En el futuro, el PMGF pretende implementar una estrategia integrada de manejo de recursos genéticos forestales, del cual el mejoramiento genético constituye solamente una parte. El componente fundamental de tal estrategia sería una red nacional de unidades de manejo de recursos genéticos. Una unidad de este tipo podría ser cualquier tipo de población, desde una reserva silvestre con el fin exclusivo de conservación genética, hasta un jardín de multiplicación clonal, dirigido exclusivamente a la producción operacional de germoplasma mejorado. Entre estos extremos, habría una variedad de modalidades, tales como rodales semilleros, rodales remanentes, ensayos genéticos, huertos semilleros, etc., cada una diferente en cuanto a su énfasis relativo en conservación de germoplasma y mejoramiento genético, pero todas con un papel definido y claro en relación con la estrategia global de manejo de los recursos genéticos de la especie. Así, se pretende asegurar un manejo racional y integrado de los recursos genéticos de cada especie, capaz de cumplir a corto, mediano y largo plazo con las necesidades forestales del país.

SISTEMAS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO FORESTAL UTILIZADOS EN AMÉRICA CENTRAL: ¿CUANTA GANANCIA GENÉTICA PODEMOS ESPERAR?

Jonathan Cornelius¹

RESUMEN

Se presentan proyecciones de ganancia genética de cuatro sistemas de selección dentro de poblaciones, que se utilizan actualmente en América Central. Las proyecciones se basan en valores típicos de parámetros genéticos para las características altura, diámetro y rectitud, derivados de una revisión extensa de la literatura. Las proyecciones de ganancia genética son: 3%-5% para un rodal semillero con respecto a un rodal raleado y maduro; 12%-20% para un ensayo de descendencias de árboles plus, aclareado para convertirlo en un huerto semillero de plántulas; 13%-22% para un huerto semillero de ramets de árboles plus, aclareado con base en los resultados de un ensayo de descendencias; 13%-40% para clones comprobados de árboles plus. Se enfatiza que los valores dados no son límites rígidos de las ganancias genéticas posibles, sino indicaciones de las ganancias que razonablemente se pueden esperar y de las diferencias entre los sistemas de selección.

INTRODUCCION

La pregunta más común que los genetistas forestales reciben de sus colegas silvicultores y otras personas involucradas en la reforestación es: ¿Cuánta ganancia va a producir este huerto o rodal?

Normalmente, para contestar tales preguntas, el mejorador tiene que recurrir a comparaciones con los logros obtenidos en los programas avanzados que existen fuera de la región centroamericana. Frecuentemente, sin embargo, los sistemas usados no son comparables.

La necesidad de poder dar respuestas bien fundadas a preguntas de este tipo motivó al Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE a estudiar las ganancias genéticas probables de algunos sistemas usados en la región, particularmente a la luz de los componentes de la ganancia genética. La metodología es descrita en detalle por Cornelius (1992a). Aquí se presenta un desglose breve de los métodos y los resultados.

¹Genetista Forestal, Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE, Turrialba, Costa Rica/Oficial de Cooperación Técnica, Administración Británica para Desarrollo en Ultramar (ODA).

²Un aclareo es un raleo basado en información sobre el comportamiento de las descendencias del material raleado.

LA FORMULA PARA GANANCIA GENETICA

La fórmula para ganancia genética normalmente se expresa así:

$$G = i p h^2$$

donde:

i = la intensidad de selección

p = la desviación estándar fenotípica de la población objeto de mejoramiento.

h^2 = la heredabilidad.

La fórmula se puede simplificar a:

$$G = i \sigma_A h$$

donde:

σ_A = la desviación estándar genotípica aditiva

h = la raíz cuadrada de la heredabilidad (=la correlación entre valores fenotípicos y valores de cruce).

LOS PARAMETROS GENETICOS

En gran medida, el valor de " i " es justamente una consecuencia de la acción (La selección) cuyo efecto queremos evaluar. Para una intensidad de selección dada, se necesitan los valores de los parámetros genéticos para poder estimar la ganancia genética. En los sistemas tratados a continuación, se justifican explícitamente los valores de " i " utilizados. También, cuando sea apropiado, se consideran en los resultados el efecto de intensidades de selección máximos y mínimos sobre la ganancia para el sistema en cuestión.

Las heredabilidades y las varianzas genotípicas aditivas siempre se aplican a características específicas de poblaciones específicas creciendo en ambientes específicos. Es decir, dichos parámetros son parecidos a otros como, por ejemplo, la altura promedio de una población. En ambos casos, aunque no se puede predecir cuál sería el valor del parámetro en cualquier población, si es posible hacer comentarios generales.

En una revisión hecha por Cornelius, 1992b de más de 334 valores de heredabilidad y 211 valores de coeficiente de variación genotípica aditiva (CVAG) para las características altura, diámetro y rectitud del fuste, los valores de CVAG y h^2 para cada característica se ubicaron por lo general en los rangos 5% - 15% y 0, 1-0, 4, respectivamente (figuras 1 y 2).

La matriz de combinaciones de estos valores prácticamente define el rango de ganancias genéticas posibles para una intensidad de selección definida. Sin embargo, dentro de estos rangos, es posible definir

un rango más restringido, el cual correspondería al rango probable de ganancias. En el presente estudio, en el caso del CVAG, se usan valores de 5% (considerado "bajo"), 8.3% (considerado "bajo-típico"), 11.7% (considerado alto-típico) y 15% (considerado "alto"). En el caso de la raíz cuadrada de la heredabilidad, se usan valores de 0.32 ($h^2 = 0.1$) (generalmente considerado "bj"), 0.45 ($h^2 = 0.2$) ("bajo-típico"), 0.55 ($h^2 = 0.3$) ("alto-típico") y 0.63 ($h^2 = 0.4$) ("alto").

Otras consideraciones entran también en la estimación de las ganancias para cada sistema, tales como las correlaciones juvenil-adulto, el efecto de selecciones anteriores sobre la varianza disponible en selecciones posteriores, y los varios tipos de heredabilidad para los diferentes tipos de selección. Todas estas consideraciones se toman en cuenta en las estimaciones de ganancias y son tratadas por Cornelius (1992a); aquí se mencionarán únicamente cuando sea esencial para la comprensión del sistema en cuestión. Las intensidades de selección usadas se tomaron de Becker (1967), mientras que todas las fórmulas se basan en los trabajos de Falconer (1989), Namkoong (1981) y Shelbourne (1969). Las correlaciones genéticas usadas se basan en la relación de Lambeth (1980).

SISTEMAS DE SELECCION

Sistema 1. Establecimiento de un rodal semillero

Descripción del sistema

Brevemente, el sistema consiste en la conversión de rodales existentes de buena calidad a rodales destinados únicamente a la producción de semilla. Un rodal semillero se distingue de un rodal comercial básicamente en su densidad final. En ambos casos, los "árboles finales" serán buenos fenotipos para el producto en cuestión. Incluso, si se sometiera el mismo rodal a estas dos formas alternativas de manejo, es probable que todos los árboles presentes bajo manejo normal estarían presentes también en el rodal semillero (excluyendo en este último los malos productores de semilla). Por ejemplo, si las densidades finales bajo manejo operacional y manejo para producción de semilla fueran 200 y 100 árboles por hectárea, respectivamente, la proporción seleccionada sería 0.50.

En las estimaciones de ganancia genética presentadas aquí, se asume que las densidades finales son de 225 y 70 árboles por hectárea en el rodal operacional y el rodal semillero, respectivamente, lo que corresponde a distancias promedio entre árboles de 6.7 y 12.0 m., respectivamente. Por lo tanto, la proporción seleccionada es 70/225, la cual corresponde a una intensidad de selección de 1.131.

Ganancia genética esperada

La ganancia genética esperada para el sistema 1 se resume en el cuadro 1.

Cuadro 1. Estimaciones de la ganancia genética (%) para el sistema de selección 1: Un rodal semillero.

Sistema 1.1: un rodal semillero aislado

$$i = 1.131$$

Ganancia a $i_{\text{máx}}$ ($p = 44/300$) = Los valores tabulados x 1.38

Ganancia a $i_{\text{mín}}$ ($p = 100/225$) = Los valores tabulados x 0.78

	h				
		0.32	0.45	0.55	0.63
CVAG Inicial (*)	5.0	2	2	2	2
	8.3	3	3	4	4
	11.7	4	5	6	6
	15.0	5	6	7	7

(*) Es decir, el CVAG en el rodal antes de los raleos comerciales y antes del raleo para convertirlo en rodal semillero

Es probable que en un rodal comercial las heredabilidades sean más bajas que en un experimento diseñado estadísticamente; parece razonable sugerir 0, 1-0.2 ($h = 0.32-0.45$) como el rango esperado. Por lo tanto, se esperaría que, típicamente, las ganancias genéticas de rodales semilleros estén en el rango 3%-5%. Aumentando la intensidad de selección al máximo, las ganancias típicas podrían subirse a 4%-7%. Al contrario, al bajar las intensidades de selección al mínimo, las ganancias podrían bajarse a 2% - 4%.

Sistema 2: La conversión a un huerto semillero de plántulas de un ensayo de descendencias de árboles plus.

Descripción del sistema

Este sistema de mejoramiento consiste de dos etapas distintas. Primero, se seleccionan árboles plus en el bosque natural o en plantaciones comerciales. Después, se recolecta su semilla, la cual se establece en ensayos de descendencias. Dichos ensayos tienen el objetivo de proveer información sobre el comportamiento de las descendencias incluidas y sobre los parámetros genéticos, para permitir el aclareo de huertos semilleros clonales (ver sistema 3) o, como en este caso, la conversión de los mismos ensayos a huertos semilleros de plántulas.

La selección de árboles plus

Se considera que el valor "típico" de la proporción seleccionada es 1/225, que corresponde a aproximadamente un árbol por hectárea (una intensidad de selección de aproximadamente 2,927). Sin embargo, la intensidad de selección se ve reducida debido a la contaminación por padres no seleccionados. La intensidad de selección corregida es 1,470. Se considera que las proporciones seleccionadas máximas y mínimas de la selección de árboles plus son 1/1000 y 2/225 (intensidades de selección de 1,685 y 1,363). Una proporción seleccionada menor de 2/225 se consideraría como la selección de árboles semilleros, la cual representa un sistema diferente.

Selección en el ensayo de descendencias

Se asume que el ensayo consiste de 50 familias con 60 individuos por familia, lo cual es representativo de los ensayos que está estableciendo actualmente el Proyecto MGF del CATIE. Aquí se asume que se utiliza la "selección secuencial" para raleo y aclarear² el ensayo: a una edad temprana, se remueven las peores familias y después se remueven en varias etapas los peores árboles dentro de cada una de las mejores familias. Específicamente, se asume el siguiente régimen como ejemplo en este trabajo:

Número de árboles por hectárea antes del raleo	Número de árboles por hectárea después del raleo	Número de familias después del raleo	Número de individuos por familia después del raleo	Edad (años)
1111	444	20	60	5
444	222	20	30	7
222	70	20	9	9

Según Falconer (1989), la ganancia genética de la selección familiar es:

$$\Delta G = i \sigma_A h [(1 + \{n-1\}R) (n\{1 + \{n-1\}t\})^{1/2}]$$

donde:

- R = el coeficiente de relación (0.25 en el caso de medios-hermanos),
- t = la correlación de valores fenotípicos entre miembros de familias = h²R,
- n = el número de individuos por familia.

La ganancia genética debida a la selección de los mejores árboles dentro de cada familia que queda después de la selección familiar se calcula como:

$$\Delta G = i \sigma_A h [1-R] [(n-1)/(n\{1-t\})^{1/2}]$$

Sustituyendo los valores en la fórmula y modificándola para tomar en cuenta que se trata de la selección juvenil, la ganancia genética para la selección familiar sería:

$$\Delta G = i \sigma_A = h_j r \sigma_A \times 1.29$$

$$\Delta G = i \sigma_A = h_j r \sigma_A \times 1.02$$

$$\Delta G = i \sigma_A = h_j r \sigma_A \times 0.87$$

$$\Delta G = i \sigma_A = h_j r \sigma_A \times 0.77$$

Para heredabilidades de 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4, respectivamente. La intensidad de selección que corresponde a la selección familiar de 0.951.

Para la primera selección dentro de familia, la ganancia genética sería:

$$\Delta G = i \sigma_A = h_j r \sigma_A \times 0.75$$

$$\Delta G = i \sigma_A = h_j r \sigma_A \times 0.76$$

$$\Delta G = i \sigma_A = h_j r \sigma_A \times 0.77$$

$$\Delta G = i \sigma_A = h_j r \sigma_A \times 0.78$$

Para heredabilidades de 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4, respectivamente la intensidad de selección es de 0.788.

Para la segunda selección dentro de familia, las fórmulas son iguales, sólo que la varianza aditiva genética ha sido reducida por la selección anterior. Los valores de r_A , estimados según la relación de Lambeth (1980) se incluye en el cuadro 2.

Ganancia genética esperada

En el cuadro 2 se presentan las ganancias genéticas esperadas para la selección de árboles plus y el aclareo del ensayo por selección secuencial.

Asumiendo heredabilidades de 0.1 a 0.2, la ganancia genética de la selección de árboles plus sería de 4% a 8%. En el caso de realizar la selecciones a las intensidades mínimas y máximas, los rangos serían de 3% a 7% y 4% a 9% respectivamente.

Es razonable asumir heredabilidades de 0.2 a 0.3 en experimentos diseñados estadísticamente. Por lo tanto, se esperaría una ganancia genética de 8% a 12% mediante la selección secuencial en el huerto semillero de plántulas.

Se esperaría que la ganancia genética total del proceso combinado de selección de árboles plus y selección secuencial sea de 12% a 20%.

Cuadro 2. Estimaciones de la ganancia genética (%) para el sistema de selección 2: un ensayo de descendencias de árboles plus convertido a huerto semillero de plántulas.

Sistema 2: Conversión de un ensayo de descendencias de árboles plus en un huerto semillero

1. La selección de árboles plus

$i = 1.470$

Ganancia a j_{max} ($p = 1 / 1000$) = Los valores tabulados x 1.15

		h			
		0.32	0.45	0.55	0.63
CVAG	5.0	2	3	4	5
	8.3	4	5	7	8
	11.7	5	8	9	11
	15.0	7	10	12	14

Ganancia a l_{min} ($p = 2/225$) = Los valores tabulador x 0.93

2. Selección familiar

		h			
		0.32	0.45	0.55	0.63
CVAG	5.0	2	2	2	2
	8.3	3	3	3	3
	11.7	4	4	4	4
	15.0	5	5	5	5

$i = 0.951, s = 0.75$

3. Selección individual dentro de familias (1)

		h			
		0.32	0.45	0.55	0.63
CVAG	5.0	1	1	1	2
	8.3	1	2	2	3
	11.7	2	3	3	4
	15.0	3	4	4	5

$i = 0.788, r = 0.85$

4. Selección individual dentro de familias (2)

$$i = 1.126, r = 0.93$$

	h				
		0.32	0.45	0.55	0.63
CVAG Inicial	5.0	1	2	2	2
	8.3	2	3	3	4
	11.7	3	4	5	5
	15.0	4	5	6	7

Totales para etapas 2-4

	h				
		0.32	0.45	0.55	0.63
	5.0	4	5	5	6
	8.3	6	8	8	10
	11.7	8	11	12	14
	15.0	11	14	15	17

Sistema 3. Selección de árboles plus, su establecimiento en un huerto semillero clonal, aclareo del huerto con base en un ensayo de descendencias de polinización abierta, y uso de la semilla producida después del aclareo.

Descripción del sistema

En este sistema de selección, se obtienen ramets de los árboles plus y se establecen juntos, normalmente usando injertación o enraizamiento de estacas. Así se logra que haya polinización sólo entre ellos. A la vez, se recolecta semilla de los árboles plus en el bosque, la cual se usa para establecer uno o más ensayos de descendencias. Con base en estos ensayos, se aclarea el huerto semillero, asegurando de esta manera que únicamente aquellos árboles plus que han probado ser genéticamente superiores queden en el huerto.

El sistema tiene mucho en común con el de huertos semilleros de plántulas. Se distingue de éste principalmente en que: a) no es posible la selección dentro de familia; b) la intensidad de selección de árboles plus no se reduce por contaminación, porque los árboles plus se cruzan únicamente entre sí en el huerto semillero clonal; c) no hay recombinación entre las dos etapas de selección y, por lo tanto, la selección de árboles plus reduce la varianza disponible en el aclareo en el huerto; d) la intensidad de selección en el huerto se ve duplicada con respecto al aclareo de las mismas familias en el ensayo (Shelbourne, 1969; Namkoong, 1981).

Ganancia genética esperada

En el cuadro 3 se presentan las ganancias genéticas de las dos etapas

Cuadro 3. Estimaciones de las ganancias genéticas (%) para el sistema de selección 3: un huerto semillero aclareado.

Sistema 3: Un huerto semillero clonal aclareado

Selección de árboles plus

$i = 2.927$

Ganancia a i_{max} ($p = 1/1000$) = Los valores tabulados x 1.15

Ganancia a i_{min} ($p = 2/225$) = Los valores tabulados x 0.93

	h				
		0.32	0.45	0.55	0.63
CVAG	5.0	5	7	8	9
	8.3	6	10	13	15
	11.7	11	15	19	22
	15.0	14	20	24	28

Aclareo del huerto
 $i = 1.902, r = 0.75$

	h				
		0.32	0.45	0.55	0.63
CVAG Inicial	5.0	3	3	3	3
	8.3	5	5	5	5
	11.7	6	7	7	7
	15.0	8	8	9	9

La ganancia genética de la selección de árboles plus es el doble de la ganancia equivalente a esta etapa en el sistema 2 la ganancia estaría típicamente en el rango 8% - 15% suponiendo heredabilidades individuales de 0.2 y 0.3 en el ensayo de descendencias, se esperarían ganancias genéticas debido al aclareo del huerto de

5% a 7%, produciendo totales de 13% a 22%.

Sistema 4: Clones comprobados: selección de árboles plus, su comprobación en ensayos clonales, y la propagación en masa de los clones superiores para plantaciones operacionales.

El sistema 4 es el análogo clonal del sistema 3. Normalmente, los árboles plus seleccionados se talan para estimular la producción de rebrotes juveniles. Estos se cortan, se enraizan y, mediante un proceso de multiplicación, se obtienen suficientes ramets de cada clon para establecer ensayos clonales. Una vez identificados los clones superiores, se procede a propagarlos masivamente para las plantaciones comerciales, ya sea a partir del material en el ensayo o a partir de jardines de multiplicación clonal.

En el caso de la selección clonal, la fórmula general para la ganancia genética debe tomar en cuenta toda la varianza genotípica, y no solamente la parte aditiva:

$$\Delta G = i \sigma_p H.$$

$$H = \text{la heredabilidad en el sentido amplio} = \sigma_G^2 / \sigma_p^2$$

$$\sigma_G^2 = \text{La varianza genotípica total, incluyendo efectos clonales no genéticos.}$$

La fórmula se puede simplificar así:

$$\Delta G = i \sigma_G H^{1/2}$$

Las ganancias genéticas de este sistema de selección dependen del grado de dominancia genética. Aquí se usan tres juegos de supuestos sobre dominancia: $\sigma_G^2 = \sigma_A^2$, $\sigma_G^2 = 1.5\sigma_A^2$, y $\sigma_G^2 = 2\sigma_A^2$. Los valores de $H^{1/2}$ y CVG para cada supuesto se derivan de los valores usados anteriormente para CVAG y h, ajustados para tomar en cuenta el efecto de dominancia.

Se asume que el diseño de los ensayos clonales es similar al utilizado en los ensayos de descendencias (aunque en la práctica se podría lograr el mismo nivel de eficiencia con menos árboles por clon). Es decir, se supone que se seleccionan 50 árboles plus, que éstos se prueban con 60 ramets por clon, y que se seleccionan 20 para uso comercial (la intensidad de selección es de 0.951).

La fórmula para ganancia genética de la selección de clones con base en ensayos clonales se basa en la fórmula para selección familiar temprana:

$$\Delta G = i \sigma_G H^{1/2} r_G \times [(1 + \{n - 1\} R) / (n\{1 + \{n - 1\} t\})^{1/2}]$$

En este caso, el coeficiente de relación R es igual a 1, y por lo tanto $t = H$. Además, se usa r_G para r_A

Ganancias Genéticas Esperadas

En los cuadros 4a a 4c se presentan las estimaciones de ganancias para los tres juegos de supue sobre dominancia. Se pueden esperar razonablemente ganancias genéticas de: 13% ($\sigma^2_G = \sigma^2_A$), - 32% ($\sigma^2_G = 1.5\sigma^2_A$) y 22%-40% ($\sigma^2_G = 2.0\sigma^2_A$). En términos generales, típicamente se espera ganancias genéticas en el rango de 13%-40%.

Cuadro 4a. Estimaciones de la ganancia genética (%) para el sistema de selección 4: cl comprobados ($\sigma^2_G = \sigma^2_A$).

Sistema 4: Clones comprobados (σ^2_A)

Selección de árboles plus

$i = 2.927$

Ganancia a $j_{m\acute{a}x}$ ($p = 1/1000$) = Los valores tabulados x 1.15

Ganancia a $i_{m\acute{i}n}$ ($p = 2/225$) = Los valores tabulados x 0.93

		h			
		0.32	0.45	0.55	0.63
CVAG	5.0	5	7	8	9
	8.3	8	10	13	15
	11.7	11	15	19	22
	15.0	14	20	24	28

Selección clonal

$i = 0.951, r = 0.75$

		H			
		0.32	0.45	0.55	0.63
CVG Inicial	5.0	3	3	3	3
	8.3	5	5	5	5
	11.7	7	7	7	7
	15.0	9	9	10	10

Cuadro 4b. Estimaciones de la ganancia genética' (%) para el sistema de selección 4: clones comprobados ($\sigma^2_c = 1.5\sigma^2_A$).

Sistema 4: Clones comprobados ($\sigma^2_c = 1.5\sigma^2_A$).

Selección de árboles plus

$$i = 2.927$$

Ganancia a i_{\max} ($p = 1/1000$) = Los valores tabulados x 1.15

Ganancia a i_{\min} ($p = 2/225$) = Los valores tabulados x 0.93

		H			
		0.39	0.55	0.67	0.77
CVG	6.1	7	10	12	14
	10.1	12	16	20	23
	14.3	16	23	28	32
	18.4	21	29	36	41

Selección clonal

		H			
		0.39	0.55	0.67	0.77
CVG Inicial	6.1	4	4	4	4
	10.1	6	6	6	6
	14.3	8	8	9	9
	18.4	11	11	11	11

$$i = 0.951, r = 0.75$$

Cuadro 4c: Estimaciones de la ganancia genética (%) para el sistema de selección 4: Clones comprobados ($\sigma^2_c = 2.0\sigma^2_A$).

Sistema 4: Clones comprobados ($\sigma^2_c = 2.0\sigma^2_A$).

Selección de árboles plus

$i = 2.927$

Ganancia a i_{\max} ($p = 1/1000$) = Los valores tabulados x 1.15

Ganancia a i_{\min} ($p = 2/225$) = Los valores tabulados x 0.93

		H			
		0.45	0.63	0.77	0.90
CVG	7.1	9	13	16	19
	11.8	16	22	27	31
	16.6	22	31	37	44
	21.3	28	39	48	56

Selección clonal

$i = 0.951, r = 0.75$

		H			
		0.45	0.63	0.77	0.90
CVG Inicial	7.1	4	4	4	4
	11.8	6	6	6	7
	16.6	9	9	9	9
	21.3	12	12	12	12

La dominancia afecta las ganancias genéticas principalmente a través de la selección de árboles plus. Cuando no hay dominancia o epistasis, la ganancia genética en esta etapa es la misma que en el sistema 3 (niveles típicos de 8% - 15%). Cuando $\sigma_G^2 = 1.5\sigma_A^2$ (es decir $\sigma_D^2 = \frac{1}{2}\sigma_A^2$), la ganancia esperada sube a 12% - 23%, y a 16%-31% cuando $\sigma_G^2 = 2\sigma_A^2$.

La ganancia genética de la etapa de ensayos clonales es menos sensible a los cambios en los supuestos porque con 60 ramets por clon, la heredabilidad "familiar clonal" es siempre cercana a uno casi no tiene efecto el aumento en H individual. Así, el rango de la ganancia genética "típica" de la fase de selección clonal varía desde 5%-8% cuando no hay dominancia, hasta 6% - 9% cuando $\sigma_G^2 = 2\sigma_A^2$.

GANANCIA GENETICA RELATIVA DE LOS CUATRO SISTEMAS

En el cuadro 5, se presentan las ganancias genéticas "típicas" para los cuatro sistemas.

Cuadro 5. Ganancias genéticas típicas de los cuatro sistemas de selección.

Sistema 1	Rodales semilleros 3%-5%
Sistema 2	Selección de árboles plus, con ensayo de descendencia, convertido en huerto semillero de plántulas 12%-20%
Sistema 3	Selección de árboles plus, con un huerto semillero clonal aclareado 13%-22%
Sistema 4	Clones comprobados de árboles plus 13%-40%

Obviamente, el rodal semillero es muy inferior a los otros sistemas en cuanto a sus ganancias genéticas. Los dos tipos de huerto semillero tienen ganancias muy parecidas, mientras que las ganancias de la selección clonal son por lo menos tan altas como las de éstos, y pueden ser mucho más altas si la dominancia es importante para el rasgo y población en cuestión.

DISCUSION

Como se enfatizó anteriormente, no se pretende que los valores de ganancia genética considerados aquí como "típicos" sean tomados como límites absolutos o fijos. No lo son. Más bien, la intención es dar una idea bien fundada de las posibilidades de cada sistema de selección, para que investigadores y beneficiarios puedan tener un concepto realista de cuánto sería una "buena" ganancia genética para, por ejemplo, un rodal semillero.

Es necesario tomar en cuenta también que los valores calculados se refieren a características individuales. Cuando se selecciona para dos o más rasgos a la vez, la ganancia genética se verá reducida en la medida en que haya o no una correlación genética perfecta (positiva o negativa, dependiendo en los rasgos) entre las dos características. En el caso más extremo, cuando hay una correlación genética perfecta y desfavorable entre dos características, resulta difícil o imposible mejorar los dos rasgos a la vez. Al contrario, cuando hay una correlación perfecta favorable, al mejorar un rasgo se mejora automáticamente el otro.

Los valores presentados en este documento se calcularon en base a valores típicos de CVAG y básicamente para altura, crecimiento y rectitud. Otras características pueden mostrar valores diferentes

de estos parámetros. Por ejemplo, la heredabilidad de la gravedad específica de la madera es casi siempre superior a 0.3, pero su CVAG es normalmente alrededor de 5%. El volumen por árbol tiende a tener heredabilidades parecidas a las de altura y diámetro, pero frecuentemente presenta CVAG superiores al 20%. Incluso entre las características altura, diámetro y rectitud, la última puede tener valores de CVAG ligeramente más altos.

Rodales Semilleros

El análisis apoya al concepto del rodal semillero como un tipo de mejoramiento de "primeros auxilios", es decir, para lograr ganancias genéticas modestas a corto plazo. En ciertas circunstancias, las ganancias genéticas de los rodales semilleros podrían ser más altas que los valores tabulados en el cuadro 1: el sistema I supone que la fuente alternativa de semilla es un rodal comercial bien manejado. Cuando la fuente alternativa es un rodal sin ralea u otra fuente obviamente inadecuada, la ganancia genética debido al uso de la semilla de un rodal semillero sería más grande.

Algunos autores (por ej. Willan, 1984) han comentado que se logra tanta ganancia genética por la selección del rodal como por la selección dentro del rodal. Esto puede ser cierto cuando las descendencias del rodal ya han sido comprobadas genéticamente en un ensayo de campo. Sin embargo, en este caso, la ganancia genética de la selección del rodal se debería al ensayo de procedencias, y estaría igualmente disponible en cualquier sistema de selección dentro de la procedencia en cuestión. La ganancia es real, pero no se incluye en la comparación entre sistemas de selección dentro de poblaciones, porque afecta por igual a todos los sistemas. Si no existe información a partir de ensayos de procedencias, se desconoce completamente la calidad genética del rodal en comparación con otros. Siempre se debería asegurar que los rodales para conversión sean de buena calidad fenotípica, pero no se debe olvidar el principio básico que nada en definitiva puede decirse sobre la calidad genética de un árbol o rodal con base únicamente en su fenotipo.

Huertos Semilleros de Plántulas

En este caso, se escogió la cantidad de 50 familias por ensayo porque, en la práctica en América Central, no se ha intentado probar más de alrededor de este número en un ensayo. Debido a las limitaciones que esto impone en la intensidad de selección familiar en el ensayo, es muy importante mantener un número alto de individuos por familia en ensayos de este tipo, para poder lograr una intensidad de selección alta en la selección dentro de familias.

Cabe mencionar que la manera más efectiva de aclarar un ensayo de descendencias sería mediante el uso de la selección combinada. Con la selección combinada, se le asigna a cada árbol un valor basado en un índice del tipo siguiente (Falconer, 1989):

$$I = [h^2(1-k)/(1-K)]P_1 + [h^2(k-K)/K(1-K)]P_2,$$

donde:

$$K = [1 + (n-1)t] / n,$$

$$k = [1 + (n-1)r] / n.$$

- P_1 = el valor (altura, etc.) del árbol individual,
 P_2 = el promedio de la familia.

La selección combinada siempre proporciona mayor ganancia genética que cualquier otro método de selección (Falconer, 1989), porque se logran altas intensidades de selección y, a la vez, se usa toda la información fenotípica y genética relevante al comportamiento de cada individuo. En un análisis hecho por Namkoong (1966), la selección combinada (integrando también información sobre el árbol madre (plus), produjo un aumento de por lo menos 50% en la ganancia con respecto de la obtenida con selección secuencial.

Huertos semilleros clonales

Vale la pena subrayar la gran importancia de la selección de árboles plus en la determinación de las ganancias genéticas totales de este sistema de selección, ya que es responsable de alrededor del 60% de la ganancia genética total. En condiciones desfavorables para la selección de árboles plus (por ejemplo cuando se efectúa la selección en rodales disetáneos o entre árboles dispersos), las ganancias genéticas se verían reducidas debido a una disminución en la heredabilidad.

Selección clonal

Aun con niveles de dominancia bastante bajos, la selección clonal produce una ganancia mucho mayor que los otros de selección. Es interesante notar también que, aun cuando no exista dominancia, las pruebas clonales proporcionan mayor ganancia que las pruebas de descendencias, porque los valores del coeficiente de relación y la correlación fenotípica entre miembros de la familia en la selección clonal son cuatro veces más altos que en la selección entre medios-hermanos. Además, se debe destacar que la selección clonal produce un aumento importante en uniformidad, la cual puede aumentar aun más la productividad del rodal y puede tener grandes ventajas en las fases de manejo, aprovechamiento y procesamiento.

Comentarios generales y prioridades para la investigación

Tal vez la lección fundamental de los análisis presentados aquí es la importancia de mantener una alta intensidad de selección para lograr ganancias genéticas altas. Esto es difícil de lograr con la selección familiar, lo cual es una desventaja de este método.

Para mantener una intensidad de selección alta, el genetista forestal debe trabajar con selección en poblaciones grandes. En este sentido, existe básicamente dos opciones principales:

La selección de árboles plus en grandes áreas de bosques naturales o, preferiblemente, en plantaciones.

Esta es una actividad tradicional en el mejoramiento genético forestal. Sin embargo, son pocos los trabajos que se han hecho para tratar de mejorar la eficiencia de este tipo de selección. Actualmente, el Proyecto Mejoramiento Genético del CATIE está iniciando investigaciones fundamentales tendentes a un mejoramiento de la eficiencia de este tipo de selección, el cual, debido al aumento en la reforestación,

aumentaría considerablemente en importancia en los próximos años en América Central.

La selección juvenil en viveros o ensayos

Este tipo de selección ha sido poco usado, debido al supuesto de que las correlaciones juvenil-adulto son muy bajas o hasta inexistentes. Sin embargo, el trabajo de Ladipo (1981) demostró la posibilidad de identificar importantes componentes de productividad a edades tempranas. Actualmente, el Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE está trabajando fuertemente en este campo con *Cordia alliodora*, *Albizia guachapele* y otras especies (Mesén et al., 1992).

Selección de sistemas de mejoramiento

A corto plazo, existe en América Central una necesidad urgente de contar con fuentes confiables de semilla de calidad genética adecuada. A pesar de las pocas ganancias que producen, los rodales semilleros juegan un papel importante en este sentido, principalmente por su simplicidad y bajo costo. También, cuando los métodos más efectivos de mejoramiento no producen suficientes propágulos para suplir la demanda, los rodales pueden tener un papel complementario muy importante.

Sin embargo, en América Central, el mejoramiento genético forestal tiene un papel que va más allá que del suministro de semilla con niveles modestos de mejoramiento. El suministro de material de calidad realmente excelente es una opción con enorme potencial para cambiar en forma radical la manera en la cual se plantan y se manejan las plantaciones forestales y pueden contribuir enormemente al desarrollo forestal de la región centroamericana. Obviamente, para lograr este objetivo, es necesario usar los métodos más avanzados de mejoramiento genético forestal, tales como los sistemas 2, 3 y 4 analizados aquí. Los tres sistemas no son necesariamente excluyentes; en la mayoría de los casos, las tres actividades pueden ser implementadas simultáneamente y en forma integrada.

CONCLUSIONES

1. Se espera que la ganancia genética de rodales semilleros típicamente esté en el rango 3%-5%.
2. Se espera que la ganancia genética de ambos tipos de huerto semillero típicamente esté en el rango 12%-22%.
3. Cuando no hay dominancia, la ganancia de la selección clonal es parecida a la ganancia genética de huertos semilleros. Sin embargo, aun cuando haya niveles bastantes bajos de dominancia, se esperarían ganancias genéticas típicamente en el rango 18%-40%.
4. En el mejoramiento genético forestal, existe la oportunidad de lograr intensidades de selección muy altas a través de la selección en poblaciones muy grandes. En tales condiciones, aún con heredabilidades bajas, la ganancia genética de la selección fenotípica puede ser igual o mayor que la selección genotípica a través de ensayos de campo. Debido a estas posibilidades, se deben buscar métodos para aumentar la eficiencia de la selección fenotípica individual.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al M.Sc. Francisco Mesén y al M.Sc. Eugenio Corea por sus valiosos comentarios.

LITERATURA CITADA

- Becker, W.A. 1967. Manual of procedures in quantitative genetics. Second edition, Washington State University Press, Pullman, Washington, USA, xi + 130 p.
- Cornelius, J.P. 1992a. Ganancias genéticas esperadas de cuatro sistemas de mejoramiento genético forestal actualmente en uso en América Central. Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE.
- Cornelius, J.P. 1992b. Additive genetic variation and heritabilities in forest trees. Sin publicar.
- Falconer, D.S. 1989. Introduction to quantitative genetics. Third edition, Longman Scientific and Technical, Harlow, England, ix + 438 p.
- Ladipo, D.O. 1981. Branching patterns of the tropical hardwood *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. with special reference to the selection of superior clones at an early age. Ph.D. Thesis, University of Edinburgh. 248 p (Sin publicar).
- Lambeth, C.C. 1980. Juvenile-mature correlations in Pinaceae and implications for early selection. Forest Sci. 26(4): 571-580.
- Mesén, J.F.; Leakey, R.R.B.; Newton, A.C. En imprenta. Hacia el desarrollo de técnicas de silvicultura clonal para el pequeño finquero. *El Chasqui*, Costa Rica.
- Namkoong, G. 1966. Family indices for seed orchard selection, pp 7-12. In Joint Proceedings, Second Genetics Workshop of the Society of American Foresters and the Seventh Lake States Forest Tree Improvement Conference 1965. U.S. For Serv. Res. Pap. NC-6 North Cent. For. Exp. Stn., St. Paul, Minn.
- Namkoong, G. 1981. Introduction to quantitative genetics in forestry. Castle House Publications, Tunbridge Wells, England, viii + 342 p.
- Shelbourne, C.J.A. 1969. Tree breeding methods. New Zealand Forest Service Technical Paper No 55, Wellington, 43 p.
- Willan, R.L. 1985. Provenance seed stands and provenance conservation stands. DANIDA Technical Note 14,42 p.

Genetic improvement of trees in Central America, with particular reference to Costa Rica

J F Mesén¹, D H Boshier² & J P Cornelius¹

¹Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza, Tree Improvement Project, Turrialba 7170, Costa Rica

²Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford, South Parks Road, Oxford OX1 3RB, UK

ABSTRACT

Central America has little or no forestry tradition other than widespread clearance and exploitation of its natural forests. Planting of trees to provide for a shortfall of timber and other products is a recent event, and has only reached a significant scale in the past decade. Tree improvement activities in Central America, starting in 1977 at the Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza (CATIE) in Costa Rica and the National School of Forest Sciences, Honduras, therefore developed initially in a vacuum, without the usual demand for improved seed. The Honduran project was curtailed in 1982 owing to the lack of finance. Work started again in 1987 with the conservation and genetic improvement of Honduras forest resources project (CONSEFORH), working with a greater number of species, a wider remit, and greater emphasis on the conservation of native tree genetic resources. In Costa Rica, the tree improvement project (TIP) has worked continually since 1977. Central to the approach of the TIP has been the establishment of trials on farmers' land to ensure the performance of selected provenances/genotypes on the type of land to be reforested. More recently, a bilateral project funded by the Danish International Development Agency started in Nicaragua, focusing on the improvement and conservation of various native species. No formal tree improvement programmes exist in the other Central American countries, although seed stands have been established for a number of species.

Given population densities and the land tenure situation in Central America, the majority of reforestation is and will continue to be by farmers with small and medium-sized holdings, using both timber and multipurpose trees. The great diversity of climatic and edaphic conditions encountered in Central America, and the varied demands of farmers for trees, result in the need for work on a greater number of species than is normal in tree improvement programmes. These include both native species, such as *Albizia guachapele*, *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Gliricidia sepium*, *Pinus* spp., *Swietenia macrophylla* and *Vochysia guatemalensis*, and exotics, mainly *Acacia mangium*, *Gmelina arborea* and various *Eucalyptus* species. With particular reference to activities in Costa Rica, this paper reviews past, present and planned tree improvement activities in the region and the effect of some of the peculiarities of the region in developing strategies for tree improvement and domestication.

INTRODUCTION

Few areas of the tropics of a similar size to Central America show such wide variations of topography, climate, soil and vegetation. According to Holdridge's life zone classification, there are 17 major zones in Central America (Holdridge 1967). Vegetation ranges from very dry forest to rainforest, depending on the amount of rainfall, and with altitude from basal to paramo. Vavilov (1935, 1951) and Zohary (1970) identified Central America as one of the principal areas of the world for genetic diversity of plant life. This botanical wealth is shown as much in tree species as in shrubs and herbs. With a total number of more than 4000 tree species, the region's tree genetic resources are enormous.

Various tree species now planted on a large scale in many tropical countries of the world are indigenous to Central America, eg *Calliandra calothyrsus*, *Cupressus lusitanica*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena* spp., *Pinus caribaea*, *P. oocarpa* and *P. taeda*. Others have been selected on a

smaller scale but have great potential for use and development, eg *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Juglans olanchana*, *Parkinsonia aculeata*. Furthermore, there are numerous species in the region which may have potential for use in the future. The increasing levels of deforestation endanger the genetic resources of many of the region's species. Particularly in the dry Pacific zone where deforestation has been extensive, species have suffered serious genetic erosion and in some cases are in danger of localised and even regional extinction (Janzen 1986).

Central America has little or no forestry tradition other than widespread clearance and exploitation of its natural forests. The high population growth rate in the region has resulted in a continuing demand for land for agriculture, ranching and forest products, leading in turn to an indiscriminate destruction of the forest. Hartshorn (1982) estimated that 60–70 kha of forest are cut each year in Costa Rica for every hectare of plantation

Table 1 Tree improvement activities by species in the Central American region

Species	Provenance trials	No. plus-trees	Progeny tests	Seed stands	Seed orchard	Cloning
<i>Acacia mangium</i>	10			2		x*
<i>Albizia guachapele</i>	2	54	2		1	x
<i>Alnus acuminata</i>	1	52	1		1	x
<i>Araucaria hunsteinii</i>	2					x
<i>Bombacopsis quinata</i>	6	117	3	1	3	x
<i>Calliandra calothyrsus</i>	4					
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	2					
<i>C. equisetifolia</i>	5					
<i>Cedrela odorata</i>	1	31	1			x
<i>Cordia alliodora</i>	8	163	5		5	x
<i>Cupressus lusitanica</i>	6	45	2	2	1	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	13		4	4	2	
<i>E. deglupta</i>	3	55	4	1	5	x
<i>E. grandis</i>	3		2	2	2	
<i>E. saligna</i>	5		1			
<i>E. tereticornis</i>	2					
<i>E. urophylla</i>	3			1		
<i>Gliricidia sepium</i>	12	177	2	1		x
<i>Gmelina arborea</i>	9	65	8	14	8	x
<i>Guazuma ulmifolia</i>	2					
<i>Inga</i> spp.	4					x
<i>Leucaena leucocephala</i>	11	24	2	4		
<i>Pinus caribaea</i>	20	1218	6			
<i>P. oocarpa</i>	8		2			
<i>P. tecunumanii</i>	4	801	5		2	
<i>Swietenia macrophylla</i>	2	36	2			x
<i>Tectona grandis</i>	3			11		
<i>Vochysia guatemalensis</i>	4	61	3		3	x

*x, species propagated vegetatively, either by leafy cuttings or stakes

the past decade. Up until the beginning of 1983, the total area reforested in Costa Rica was estimated at 4 kha (Hartshorn 1982).

Reforestation has increased during the past decade because of a series of incentives given by the government, to reach rates of 12–15 kha per year. However, plantation failures are high, mainly owing to poor quality of nursery stock, inadequate maintenance after planting, and poor seed quality.

The CATIE tree improvement project (TIP), financed by the UK Overseas Development Administration (ODA), the Department for Development Cooperation (DDC/Norway), the Swiss Office of Development Cooperation (COSUDE) and the US Agency for International Development (USAID), has been active in the genetic improvement of traditional agroforestry and timber species since 1977. The TIP began, from 1977 onwards, with the establishment of provenance trials, mainly of *Pinus caribaea*, *P. oocarpa*, *Cordia alliodora*, *Gmelina arborea*, *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* and *Acacia mangium*. They were established as a part of international trials co-ordinated by organisations such as the International Union of Forestry Research Organizations (IUFRO), the Food and Agriculture Organisation (FAO) of the United Nations, the Oxford Forestry Institute (OFI), the

Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) and the Tree Seed Centre in Denmark, funded by the Danish International Development Agency. Species were selected on the results from species trials and plots that were established in many parts of the country (Combe & Gewald 1979; Camachó 1981; Martínez 1981). The strategy was based on the fact that the most economical and rapid means of obtaining gains in the productivity of trees is through the use of the most appropriate species and provenances (Zobel & Talbert 1984). The trials were planted on a variety of sites throughout the country, covering the major ecological zones considered suitable for reforestation with the particular species. The project aimed also to identify any patterns of genotype/environment interaction for each species and their effect on any recommendations for the establishment of particular provenances. At the time the project started, there was little awareness of, or demand for, the information or material that the project could provide. The project, therefore, aimed to establish trials that would provide appropriate information, genetic material and demonstration units for the medium term when the need became apparent. The TIP's trials and seed orchard programme relies heavily on the active participation of

smallholder farmers: both individually and in organised groups. Virtually all trials are established on small farms under written agreements with the landowners. After final thinning, the trials and seed orchards are used by the individuals or groups in question for timber and/or improved seed sources. The establishment of trials on farmers' land ensures the performance of selected provenance/genotypes on the type of land to be reforested, and permits the combination of the process of genetic testing, seed production and technology transfer.

An important part of the project is the strengthening of capabilities for tree improvement work throughout the region. Short courses and courses at postgraduate level are given to enhance capability within the region for tree genetic improvement.

The need to increase the work of the project to ensure the uptake of its research results by the end users (ie tree planters of all types) has become evident. One example came from the superior growth of *Pinus tecunumanii* to both *P. caribaea* and *P. oocarpa* observed in TIP trials. The results were reported by the project as long ago as 1986 (Boshier & Mesén 1986), but the species was not officially accepted by the Costa Rican General Forestry Directorate as suitable for reforestation until 1991. This acceptance came only as a result of the TIP establishing a number of small demonstration plantations (1–2 ha) on farmers' land. Firm recommendations on seed sources can now be made for *Gmelina arborea*, *Acacia mangium*, *Pinus caribaea*, *P. tecunumanii* and *Eucalyptus urophylla* (Mesén 1991).

While provenance research provides a sound basis for avoiding catastrophic losses in forestry plantations, the TIP's goal is higher than simply to avoid plantation failures. Even within the best provenances, trees show a great variability in traits of economic value. Therefore, a further stage in the TIP was the selection of individual superior trees within provenances, both for the establishment of progeny tests and seed orchards in a traditional breeding programme, and for inclusion in a vegetative propagation and clonal selection programme. An additional component within the TIP's activities is the screening of *Cedrela odorata* and *Swietenia* spp. families for genetic resistance to the shoot-borer (*Hypsipyla grandella*), and the eventual cloning of pest-resistant genotypes (see Newton *et al.*, pp256–266).

Progeny tests

The natural ranges of all the native species included in the TIP progeny test programme are not restricted to Costa Rica, but extend to many other Central and South American countries. In this regard, international co-operation for

exploration, tree selection and exchange of seed becomes a critical matter. A particularly fruitful link was initiated in 1989 between the Central America and Mexico Coniferous Resource Cooperative (CAMCORE) and CATIE, through a USAID-funded project which focused on the exploration and collection of seed from superior trees of six threatened broadleaved species in Guatemala, Honduras, Colombia and Costa Rica. The species selected – *Albizia guachapele*, *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Cordia alliodora*, *Sterculia apetala* and *Vochysia guatemalensis* – were chosen because all have populations in danger of extinction or genetic impoverishment and, at the same time, have exhibited commercial potential in CATIE or CAMCORE tests (Mesén & Dvorak 1992). In addition, the TIP has carried out selections within Costa Rica for a number of promising non-native species, particularly *Cupressus lusitanica*, *Eucalyptus deglupta* and *Gmelina arborea*. In total, 597 phenotypically superior trees have been selected and their seed established in provenance/progeny tests in a variety of suitable sites in Costa Rica.

As for the provenance trials, the provenance/progeny tests are established under co-operative agreements with farmers involved in reforestation under the Costa Rican Forestry Directorate incentive scheme. Most trials are designed in such a way that they can be converted into seedling seed orchards after the evaluation period. Thus, in addition to the basic objectives of genetic testing and providing material for advanced selections, the trials are also used for demonstration purposes and the production of improved seed, tested directly in the area where reforestation is to be carried out.

Vegetative propagation and clonal selection

It is now recognised that vegetative propagation and clonal selection offer a means to enhance greatly the yield and quality of forest products (Leakey 1987; Libby & Rauter 1984). The tremendous improvements in productivity and form of clonal *Eucalyptus* in Brazil, for example, are well known by foresters. Most advances in clonal silviculture, however, have been developed by large companies and the techniques are not available to farmers in developing countries. Since 1989, the TIP has concentrated on the development of low-cost, appropriate technology cloning techniques, through a co-operation link with the Institute of Terrestrial Ecology (ITE), Scotland. The main obstacle for the use of cloning in small-scale programmes, that of the sophisticated and expensive equipment needed, has been overcome by the use of ITE's low-technology, non-mist propagators, as described by Leakey *et al.* (1990), Leakey and Mesén (1991) and Mesén, Leakey and Newton (1992) (see also Leakey, Newton & Dick,

pp72-83) Through the ITE-CATIE link the TIP has developed considerable expertise in the use of these techniques and in understanding the basic physiological principles, both pre- and post-severance, affecting the rooting ability of leafy cuttings. All priority species included in the programme, some of which were formerly considered to be difficult to root, are now being cloned routinely. They include *Albizia guachapele*, *Bombacopsis quinata*, *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*, *Gmelina arborea*, *Swietenia macrophylla* and *Vochysia guatemalensis*. The use of low-cost and easily transferred cloning methods offers excellent prospects for both the conservation and the commercial use of genetically high-quality germplasm of valuable species.

Seed stands and the Madeleña project

The focus of the Madeleña project is towards the development of techniques for the planting of multipurpose trees in different systems, including agroforestry, in small or relatively small farms in Central America. The main aim was to develop and strengthen the capabilities of CATIE and public and private organisations in the Central American region to allow them access, to promote and to disseminate on-farm, market-oriented tree crop technologies for the use and benefit of small- and medium-scale farmers and rural industries. This project developed from an initial attempt to address fuelwood shortages on a regional basis, begun in 1980, under the fuelwood and alternative energy sources project based at CATIE. The project screened more than 100 species to determine their feasibility for fuelwood and latterly multipurpose uses. Fourteen priority species were identified and a variety of promotional, extension and training activities carried out. The exclusive focus on fuelwood was broadened under the project extension (USAID/Regional Office for Central America and Panama tree crop and management project) to include a mix of species and management systems which can be utilised to provide a variety of products and economic benefits.

Traditional guides to the establishment of seed stands argue that areas of 2-5 ha are recommended for seed stands (Matthews 1964). Generally, in the Central American region, there are few large plantations and the problems of contamination from surrounding stands of trees are reduced. Genetic constraints can, however, be avoided by the use of much smaller areas, and economies of scale may be very significant if a farmer can receive income from both the timber and the seed from his trees. This approach has worked in all the countries of the region in conjunction with each country's national institutions, and national seed banks. The project aims to establish a network of seed stands for

the multipurpose species it has identified as promising and of high priority for the region.

CONSEFORH project

The genetic improvement programme in Honduras started in 1977 at the National School of Forest Sciences, but was curtailed in 1982 because of a lack of finance, leaving only a few established trials (Gibson & Romero 1988). Work recommenced in 1987 with the CONSEFORH project, through an agreement between the Honduran Corporation for Forestry Development and ODA. CONSEFORH is working with a large number of species, both native and exotic, with particular emphasis on the conservation, evaluation and genetic improvement of native species. This work involves explorations to determine the current distribution and conservation status of the species, seed collections for the establishment of genetic trials, gene conservation banks and seed orchards, establishment of silvicultural trials, and research on the properties and potential uses of the timber. Work with exotics involves the establishment of seed orchards and provenance trials.

CONSEFORH is active in the four major forest types found in Honduras, namely dry forest, cloud forest, humid forest and coniferous forest. The number of forest species in these areas is enormous, some of which (eg *Pinus caribaea* var. *hondurensis*) are planted on a large scale in many tropical countries of the world, or may have great potential for future use and development. Up until the present, the efforts of the project have been concentrated in the dry forest, being the most severely disturbed forest association in Honduras and where there are more than 300 tree species. Large-scale ecological restoration of the type currently being implemented in the dry forest of Costa Rica is not an option in Honduras, because of the land tenure pattern and consequent pressure from subsistence farmers (Gibson 1993). The project has thus taken a varied approach, depending on the importance and usage of the individual species. It involves collection and management of germplasm in both *in situ* and *ex situ* conservation units, while for some species the possibilities of conservation through use by local communities are also being explored (Gibson 1993).

Work began with priority species selected as endangered, commercially valuable and with characteristics making them acceptable to farmers and others interested in tree planting (Gibson 1993). Extensive exploration was carried out to define the distribution and status of populations and to assess options for conservation of these species. Seed collections were then made, followed by the establishment

of breeding seedling orchards (BSOs) as a basis for their conservation and improvement. The species in this programme included *Albizia guachapele*, *A. niopoides*, *A. saman*, *Bombacopsis quinata*, *Cordia alliodora*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Gliricidia sepium*, *Hymanaea coubaril*, *Leucaena salvadorensis*, *Simarouba glauca* and *Swietenia humilis* (Gibson 1993). Work with *Pinus* has also involved the establishment of BSOs to ensure the conservation of endangered provenances of *P. caribaea*.

Most trials have been planted in one of the experimental stations that the project maintains in Honduras, which range from 100 m to 1100 m above sea level. The concentration of activities in the experimental stations allows for better maintenance and protection of trials and conservation of the local flora and fauna, and at the same time facilitates education and demonstration activities. Many valuable species grow naturally in these stations: for example, *Albizia guachapele*, *Bursera simarouba*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Guazuma ulmifolia*, *Pithecellobium dulce* and *Swietenia humilis* are common in the dry forest station. Therefore, the stations themselves offer opportunities for detailed growth and phenological studies and for the development of appropriate techniques for *in situ* conservation. At present, a large proportion of the project's resources are concentrated in this area.

CONCLUSION

In Central America, the justification for tree improvement has never been the straightforward economic one appropriate to countries and companies with large reforestation programmes; the lack of adequate levels of reforestation is precisely one of the problems which the region faces. At CATIE, at least, workers in tree improvement have long been conscious that tree improvement in Central America must lead, rather than follow, reforestation, through the provision of excellent-quality material whose field performance will in itself stimulate tree planting by farmers.

This concept must be reflected in the tree improvement strategies adopted in the region. For this reason, at CATIE, the TIP is pursuing and advocating ambitious strategies of individual tree selection based, at the highest intensity, on clonal selection and vegetative propagation. Obviously, lower-intensity activities such as provenance selection will remain crucially important. However, the best provenance contains bad as well as good genotypes, and in itself even the use of the best provenance is unlikely to achieve the sort of 'quantum leap' in the quality of plantations that is necessary to change completely perceptions of and attitudes towards plantation forestry, and to stimulate reforestation

on a large scale. Clonal methods have the potential to transform smallholder forestry as effectively as they have transformed industrial forestry, although different strategies of clonal deployment may need to be developed (cf. Foster & Bertolucci, pp103-111), and a complementary programme of sexual improvement should be maintained.

Domestication by vegetative propagation and clonal selection is just one example of an improved production system made possible by, but not solely dependent on, genetic improvement. Workers in tree improvement in the region should be looking for other possibilities offered by genetic improvement to develop improved production systems which meet specific problems or which offer new opportunities. An obvious example is the work on selection for pest resistance in mahoganies mentioned above; other possibilities abound.

At a wider level, there is a need for an overall strategy of management of Central American forest genetic resources, of which the development of genetically improved forestry and agroforestry production systems would constitute only a part. The genetic base of many species is being rapidly eroded by deforestation, often before we know anything about their genetic structure or even have complete knowledge of their natural distribution. For this reason, there is now some initial work in progress in the region on genetic conservation and baseline exploration, taxonomic and population genetic studies. However, there is little co-ordination between these activities on a regional or even national basis. An integrated forest genetics resource management strategy might be founded upon a regional network of resource management units, each consisting of a specific type of population. They might range from national parks or reserves, with the objective of *in situ* genetic conservation, through to clonal multiplication gardens, dedicated exclusively to the production of improved germplasm for particular production systems. Between these two extremes there could be a variety of other options, such as seed stands, natural relict stands, seed orchards, etc., each with its own clearly defined role in relation to the overall genetic management of the species. Through such a network, priorities for funding and action would be made clearer, and national and regional co-operation on tree improvement and related activities could be greatly improved.

REFERENCES

- Boshier, D.H. & Mesén, J.F. 1986 *Proyecto de mejoramiento genético de árboles de CATIE estado de avance y principales resultados* (Trabajo presentado en el Primer Congreso Forestal Nacional) San Jose, Costa Rica
- Camacho, P. 1981 *Ensayos de adaptabilidad y rendimiento de especies forestales en Costa Rica* Cartago ITCR-MAG

- Combe, J. & Gewald, N.**, eds. 1971. *Plan de desarrollo y programas forestales del CATIE en Turrialba, Costa Rica*. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Flores, R.J.** 1985. *Diagnóstico del sector forestal*. San José: IUNED.
- Gibson, G.L.** 1993. Genetic conservation of native hardwoods in the degraded dry forests of Honduras. In: *Proceedings of the IUFRO Conference on Breeding Tropical Trees*. Cartagena, Cali, Colombia, 1992. In press.
- Gibson, G.L. & Romero, S.E.** 1988. Proyecto conservación y mejoramiento genético ODA-ESNACIFOR. *Noticiero Mejoramiento Genético y Semillas Forestales para América Central*. 2. 3-7.
- Hartshorn, G.S.** 1982. *Costa Rica: country environmental profile: a field study*. San José: Tropical Science Centre/AID.
- Holdridge, L.** 1967. *Life zone ecology*. San José: Tropical Science Centre.
- Janzen, D.H.** 1986. *Guanacaste National Park: tropical ecological and cultural restoration*. San José: ITCR-FPN-PEA.
- Leakey, R.R.B.** 1987. Clonal forestry in the tropics - a review of developments, strategies and opportunities. *Commonwealth Forestry Review*. 66. 61-75.
- Leakey, R.R.B. & Mesén, J.F.** 1991. Propagación vegetativa de especies forestales: enraizamiento de estacas suculentas. In: *Manual sobre mejoramiento genético con referencia especial a América Central*, edited by J. Cornelius, J.F. Mesén & E. Corea. 113-133. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Leakey, R.R.B., Mesén, J.F., Tchoundjé, Z., Longman, K.A., Dick, J. McP., Newton, A., Matin, A., Grace, J., Munro, R.C. & Muthoka, P.N.** 1990. Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review*. 69. 247-257.
- Libby, W.J. & Rauter, R.M.** 1971. *Amatigapal: a clonal forestry forestry*. *Forestry Chronicle*. 47:4-16.
- Martinez, H.** 1981. *Evaluación de ensayos de especies forestales en Costa Rica*. MSc thesis. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-UCR.
- Matthews, J.D.** 1964. Seed production and seed certification. *Unasylva*. 18. 104-118.
- Mesén, J.F.** 1991. *Resultados de ensayos de procedencias en Costa Rica*. (Serie Técnica. Informe Técnico, no 156). Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Mesén, J.F. & Dvorak, W.S.** 1992. *Seed collections and vegetative propagation of threatened multipurpose species in Central America*. (Networking/Workshop Meeting of the Board on Science and Technology for International Development, National Research Council) Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Mesén, J.F., Leakey, R.R.B. & Newton, A.C.** 1992. Hacia el desarrollo de técnicas de silvicultura clonal para el pequeño finquero. *El Chasqui (Costa Rica)*. 28. 6-18.
- Vavilov, N.I.** 1935. *Theoretical basis of plant breeding*. Moscow. (In Russian.)
- Vavilov, N.I.** 1951. Phylogeographic basis of plant breeding. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. *Chronica Botanica*. 13. 1-366.
- Zobel, B. & Talbert, J.A.** 1984. *Applied forest tree improvement*. New York: Wiley.
- Zohary, D.** 1970. Centers of diversity and centers of origin. In: *Genetic resources in plants - their exploration and conservation*, edited by O.H. Frankel & E. Bennett. 33-42. (IBP Handbook, no. 11.) Oxford: Blackwell Scientific.

Sustainable management and conservation of forest genetic resources in Central America

A. C. Newton¹, J. P. Cornelius² and E. A. Corea²

1. Institute of Terrestrial Ecology (ITE), Bush Estate, Penicuik, Midlothian, Scotland. EH26 OQB.

2. Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba 7170, Costa Rica.

Abstract

Current rates of deforestation in the Central American region are among the highest in the world. Removal of forest cover for agriculture and alternative land-uses results in forest fragmentation and isolation of tree populations, as well as the depletion of genetic variation. Similarly, selective logging may result in genetic erosion by continual removal of the preferred genotypes. Together, these processes have profound implications for the conservation and sustainable management of forest genetic resources. A number of recent studies have indicated that extensive genetic variation exists both within and between populations of Central American tree species. Results of such studies may be used to assess the impact of deforestation and selective logging on genetic resources, and also have implications for genetic conservation in national parks and forest reserves. An integrated programme of conservation and use of forest genetic resources is urgently required in Central America, involving greater regional collaboration in research and development, and the participation of local communities. Such initiatives are essential if Central American forests are to be managed as a sustainable resource in the future.

Keywords: Genetic conservation, tropical forestry, biodiversity

Introduction

Although each of the seven countries of Central America is relatively small in area, the forests of this region are among the richest in the world in terms of species diversity (Collins 1990). Many economically important forest tree species, which are valued for the production of timber, pulp, fruit and a wide range of other products are native to the region. For example, Central American pines (*Pinus* spp.) are now extensively grown in plantations throughout the tropics (Smith *et al.* 1992), and valuable tropical timbers such as mahogany (*Swietenia macrophylla*) have long been exploited from the region (Newton *et al.* 1994). Germplasm of multi-purpose species such as *Gliricidia sepium* (Simons *et al.* 1994) and *Leucaena* spp. (Brewbaker and Sorensson 1994) has been distributed worldwide for use in agroforestry systems. Economically important fruits such as avocado (*Persea americana*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) also have Central American origins (Smith *et al.* 1992). Central America may therefore be seen as an internationally important repository of forest genetic resources, serving both the needs of indigenous populations and those of other tropical countries. The conservation and sustainable use of these resources is consequently of both national and international concern.

Despite their economic importance, the extent of genetic variation in many Central American tree species is very inadequately known. Many conservation and genetic improvement activities are carried out without this fundamental information. Similarly, the impact of deforestation on genetic resources and the future viability of tree populations has received very little attention. It is probable that the current high rates of deforestation in the region are severely eroding the genetic resources of forest trees. The value of Central America's genetic resources may be being severely reduced as a result.

This paper highlights the need for developing an integrated approach to the conservation and management of forest genetic resources in Central America. After a consideration of deforestation and its impact, three components of an integrated management strategy for forest genetic resources are identified: characterization, conservation and sustainable use. Techniques which may be applied to the characterization and conservation of genetic resources are briefly described, and the importance of integrating genetic conservation with use is indicated. Some of the current deficiencies in the management of forest genetic resources are then described, together with strategies for the future.

Deforestation in Central America

Prior to 1950, the lowland forests of Central America were largely intact. At this time, approximately 60% of Central America was forested (Collins 1990). This situation subsequently changed very rapidly. By 1970, the percentage of forest cover had fallen to 49%, and by 1980, this figure had fallen further to 41% (Collins 1990). Rates of deforestation differ markedly between the different countries in the region (Table 1); as a consequence of high deforestation rates, El Salvador now has virtually no primary forest remaining, while those of Belize are still relatively intact. The overall rate of deforestation in Central America is currently around 50 - 100 kha per year (Collins 1990); at this rate, most of the remaining forest will be destroyed in the next 20 years, leaving only what is protected in national parks and reserves. In percentage terms, the annual rate of forest loss in many Central American countries is considerably higher than that in countries such as Brazil and Malaysia, which are often thought to be undergoing rapid deforestation (Collins 1990).

Although the causes of deforestation vary from country to country, most forest is lost through conversion to agriculture. Pressure for agricultural land has been increased by the rapid increase in the human population in the region. In 1960, the total human population in Central America was under 15 million; by 1989, this figure had risen to almost 30 million (Collins 1990). Again, the rates of population increase vary markedly from country to country (Table 2), but at current estimates, the total population in Central America is expected to be around 70 million by the year 2025 (Collins 1990, Myers 1986). Populations in most Central American countries are eventually expected to stabilize between 2065 and 2090, at values around double what they are now.

Impacts of deforestation on forest genetic resources

With current demographic trends, deforestation may be expected to continue at least at current rates. This will clearly have profound implications for the genetic resources of many forest tree species. However, the precise impacts of deforestation on genetic

resources are difficult to assess, because the processes which create and maintain genetic variation in tropical trees are poorly understood. Similarly, little information exists on the genetic characteristics of those populations currently being deforested, or indeed of those that have already been lost.

One of the clearest effects of deforestation is forest fragmentation: the creation of discrete patches of forest from what were previously continuous blocks. This is clearly seen, for example, in the maps of deforestation in Costa Rica presented by Sader and Joyce (1988) (see also Whitmore 1990). With the passage of time, as deforestation continues, the number of forest fragments increases, most of which become isolated from other patches of forest by agricultural or urban areas. This process of isolation and reduction in size of fragments may have severe implications for forest-dwelling organisms. These impacts have been investigated experimentally in the Minimum Critical Size of Ecosystems project in the Brazilian Amazon (Lovejoy *et al.* 1986). This project has identified rapid increases in tree mortality and leaf fall after isolation, associated with changes in forest microclimate (Lovejoy *et al.* 1986). Other groups of organisms, such as butterflies, primates and birds, were also shown to be adversely affected by isolation of forest fragments, leading to a general impoverishment of biodiversity, and loss of those species which require conditions associated with undisturbed forest (Lovejoy *et al.* 1986). Forest patches become increasingly vulnerable to hazards such as fire, pesticides and wind, as they become progressively more isolated (Janzen 1986).

The genetic implications of forest fragmentation may be less obvious, and more difficult to detect. In general, as tree populations become isolated in forest fragments, they become more susceptible to extinction and chance events. A decrease in population size may result in a higher level of inbreeding and a loss of genetic variation (heterozygosity), which will reduce the ability of the population to adapt to environmental change. These processes may interact, to progressively reduce the viability of a population with increasing time (Gilpin and Soulé 1986). The maintenance of genetic variation in an isolated forest fragment will depend on gene flow and recolonization from other populations, by movement of seed and pollen (see Hamrick *et al.* 1992). As a consequence, the effect of fragmentation on a particular species will be greatly influenced by aspects of its reproductive biology, such as its breeding system, and the availability of pollen and seed vectors. The effects of fragmentation of seasonally dry forest on these processes are the focus of current research in Costa Rica and Honduras (Dr David Boshier, Oxford Forestry Institute, UK; personal communication).

Erosion of genetic resources may also occur by selective logging, during exploitation of forests for timber. Foresters preferentially remove those trees which are relatively well-formed, with long, straight trunks. Like other economically important characteristics of forest trees, variation in form has a significant genetic component, and consequently the removal of selected trees may not only reduce the genetic variation within a population, but also deplete it of the very genotypes that are economically valuable. The effects of genetic erosion are difficult to quantify, but may be observed in species such as Caribbean mahogany (*Swietenia mahagoni*), which is now most commonly seen as a highly branched shrub or bush, rather than an impressive forest tree (Styles 1981). Although genetic erosion may be inferred from such observations, no quantitative information on rates of genetic depletion are available, highlighting the need for research

in this area.

Integrated management of forest genetic resources

As noted above, the forest genetic resources of Central America are being steadily eroded by deforestation, and are being sub-optimally used because of insufficient knowledge about their characteristics and potential. These problems are best countered by the integrated management of forest genetic resources. Three components of such an approach may be identified (Cornelius *et al.* 1994): (i) characterization, (ii) conservation and (iii) sustainable use of genetic resources. For optimum results to be achieved, all three elements must be implemented together, as part of a coordinated genetic management strategy. However, each one of these three aspects is considered separately below.

Characterization

Information on the characteristics of the genetic resources of a particular species is of fundamental importance, if the species is to be conserved and used effectively. Genetic variation can be considered at the level of the species, provenance, population, family or individual, or even at the level of individual genes (Ledig 1988). Most conservation is directed at individual species, but intra-specific variation is of great importance in genetic improvement and should also be considered in genetic conservation programmes.

Four main approaches are used for characterizing genetic resources: taxonomic and morphological criteria, based on the phenological appearance of the plant; biochemical techniques, such as isozymes; and molecular techniques, such as RAPD and RFLP. The application of these techniques to Central American forest tree species is considered below.

Although taxonomic studies are of great value in highlighting the nature of morphological variation, the genetic basis of such characteristics is often in doubt. More valuable are field trials, such as provenance or progeny tests, which compare plant material from different geographic origins. Such tests are a basic component of genetic improvement programmes, an increasing number of which have now been initiated with Central American tree species. For example, the Oxford Forestry Institute (OFI) in the UK has worked closely with institutions in Central America on the genetic potential of the region's pine species. On the basis of extensive germplasm exploration and collection, an international series of trials has been established to test the material (Barnes 1988). In addition, the Central America and Mexico Coniferous Resources Cooperative Program (CAMCORE) has similarly organized an extensive genetic testing programme with pine species (Dvorak and Donahue 1993). Less information is available on the many economically important hardwoods of the region, although recently an increasing number of genetic tests have been established with species such as *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata* and *Vochysia guatemalensis* (see Mesén *et al.* 1994 for a summary).

Results of provenance and progeny tests have repeatedly emphasized the high degree of genetic variation that exists within Central American tree species. For example, in a

provenance test of *Cordia alliodora* in Santa Clara, San Carlos, Costa Rica, variation in volume production between different provenances of up to a factor of six was recorded, at seven years of age. This example also illustrates the important fact that the fastest-growing provenance on a particular site need not necessarily be of local origin (Table 3). The extent of genetic differentiation between provenances is further indicated by data from a range of different tests established with both native and exotic species (Table 4). Productivity of the top-performing provenances was 26-276% higher than the mean values of the respective trial.

Biochemical markers have been increasingly used in recent years to estimate genetic diversity in forest trees, providing information that is impossible to gain from morphological approaches. In particular, isozymes have proved to be useful for comparing variability between populations and for studies of gene flow, mating systems, etc. (Loveless 1992). The technique involves the detection of polymorphisms in enzymes, by gel electrophoresis. Although relatively few tropical trees have been studied so far, results have indicated that tropical trees maintain substantial amounts of genetic variation within populations, and that gene flow between populations is substantial. Most tropical tree species studied to date have been found to be outcrossing, and results indicate that populations are structured genetically by spatial, ecological and phenological factors (Loveless 1992). Isozyme data are of great importance for the conservation and use of genetic resources, enabling the patterns of genetic variation to be assessed across the whole distribution of the species, and for the processes influencing genetic variation to be evaluated (Loveless 1992, Hamrick *et al.* 1992).

Other techniques have recently become available which assess variation at the level of DNA. Such techniques include restriction fragment length polymorphisms (RFLP) and polymerase chain reaction (PCR)-based approaches, such as Randomly Amplified Polymorphic DNA (RAPD). RFLP assays are relatively expensive and laborious, requiring large quantities of relatively pure DNA. RAPD has the advantage of not being dependent on prior knowledge of a DNA sequence, being based on the amplification of unknown DNA sequences using single, random oligonucleotide primers (Chalmers *et al.* 1992). These techniques permit a much greater amount of variation to be detected than is the case with isozymes. Few tropical trees have so far been investigated with these techniques, although RAPD has been used to assess genetic variation in *Gliricidia* spp. (Chalmers *et al.* 1992)(Table 5). This investigation recorded extensive genetic differentiation within and between populations, and indicated that this technique may be of particular value for estimating the degree of genetic variation in natural populations (Chalmers *et al.* 1992). RAPD has also been successfully applied to investigate taxonomic relationships in the mahogany family (Meliaceae) (Newton *et al.* 1994).

Conservation

Genetic conservation is vital for two main reasons: (i) to maintain the genetic diversity in natural populations, in order for them to remain viable in the long term; and (ii) to maintain a supply of genes which may be useful in breeding programmes. Conservation may be either *in situ*, where the natural populations are preserved in national parks and forest reserves, or *ex situ*, where germplasm is stored in seed banks, living collections or

as stored tissue. Strategies for genetic conservation of forest trees have recently been reviewed by Ledig (1986, 1988).

In situ conservation is generally more effective for most species, enabling whole gene complexes and biological communities to be conserved. The main problems of *in situ* conservation concern the definition of the size, number and distribution of populations to be conserved (Ledig 1986). Ideally, an adequate sample of genetic variation of the target species should be conserved, which may require a number of discrete reserves. The conserved populations will need to be protected from contamination, such as from trees planted near the reserve area. The size of the reserve is critical for the long-term viability of the population, for the reasons cited earlier. In the case of most tropical tree species, conservation strategies are developed without any information on the pattern of genetic variation in the natural populations. In addition, preservation areas are often a biased sample of the natural range of a species, tending to be concentrated in marginal or inaccessible sites (Ledig 1988). For rare or particularly valuable species, reserves are essential to protect the genetic resource; *ex situ* conservation may also be required to guard against the risk of sudden catastrophe (Ledig 1986).

Ex situ conservation involves the storage of pollen, seed or tissue cultures, or the conservation of trees in living collections such as arboreta or grafted orchards (Ledig 1986). Although living collections have been widely adopted as a method of conservation, they are expensive to maintain and may have a limited life-span. Seed storage is often preferred as a method of conservation, although many tropical trees are not amenable to storage in this way (Tompsett 1994). Genetic changes, through mutation or mortality, may occur during storage of seed or tissue cultures, and the number of genotypes that can be conserved using such techniques is often limited. One of the main problems facing *ex situ* conservation programmes is the need to guarantee financial support over a long timescale (Ledig 1988).

All the countries of Central America have designated protected areas of forest, in national parks or reserves. Many of these are internationally renowned, and provide many environmental benefits other than conservation of genetic resources. However, it is probable that these reserves contain only a fraction of the potentially valuable genetic variation that exists within the region. The tree populations outside existing reserves also need to be brought into an integrated conservation programme. Examples of *ex situ* conservation measures in Central America include the national seed banks which have now been established in Nicaragua, Costa Rica, Honduras, El Salvador, Guatemala and Panama. Regional development of seed banks is currently being supported by the Danish International Development Agency (DANIDA). In addition, a number of organizations have important living collections, such as the cocoa and peach palm collections at CATIE (see Clement and Villachica 1994) and the provenance and progeny tests established by tree improvement programmes (Mesén *et al.* 1994).

Sustainable use

The main use for forest genetic resources is as a source of material for reforestation, and for genetic improvement activities. Reforestation is now generally recognized as a key element in the future sustainable development of Central America. For example, in Costa

Rica during the last decade, reforestation rates have reached 12-15 kha per year (Mesén *et al.* 1994), while in Central America as a whole, tree planting is being actively promoted by national Governments, donor agencies and NGOs, both through extension and financial incentives (Morán 1993). The potential area for reforestation in Central America is vast; successful reforestation could bring enormous economic and ecological benefits to the region.

For successful reforestation, the planting stock must be of at least a minimum genetic quality, to prevent plantation failure. In addition to this, the use of superior provenances can greatly increase plantation yields (Palmberg 1993), and significantly improve economic returns. The provision of high-quality genetic material, such as selected clones adapted to smallholder silvicultural practices, has the potential to greatly increase plantation productivity and quality, and thereby to act as a stimulus to further reforestation.

The basis of genetic improvement of forest trees is well-designed and well-implemented field trials to identify the best genotypes for each site type. The superior genotypes thus identified must then be made available to tree planters, either by collecting seed from specific sites, or by producing seeds or vegetative propagules in seed orchards and clonal multiplication gardens, respectively. However, the success of tree improvement depends on a sound knowledge of the characteristics of the resource base: provenances of a species cannot be sampled properly if the range is poorly known. In addition, as the future needs of genetic improvement are unpredictable, adequate genetic conservation is a vital adjunct to any tree improvement programme.

A number of tree improvement programmes, with a variety of activities (see Table 6), are currently in progress in Central America (see Mesén *et al.* 1994). For example, the Proyecto Mejoramiento Genético Forestal (PMGF) at CATIE has been working actively in the genetic improvement of forest trees in Costa Rica since 1977. Achievements have included the identification of superior provenances of a range of species, the development of low-technology systems of vegetative propagation, the establishment of progeny tests and seed orchards of 10 species, and the conservation *ex situ* of a large number of threatened tree populations and individual genotypes (Mesén *et al.* 1994, Cornelius *et al.* 1994). In addition, PMGF has an active training and extension programme, built around an annual International Course in Tree Improvement. Additional projects involved in forest genetic resource management include the Forest Tree Seeds Project (PROSEFOR), which aims to ensure efficient production and distribution of forest tree seed in Central America, the Conservation and Improvement of Forest Resources (CONSEFORH) Project in Honduras, which has been active since 1987 in the *ex situ* genetic conservation of a number of species (see Mesén *et al.* 1994). The Nicaraguan Tree Improvement Centre (CMG) and Forest Tree Seed Bank (BSF) in Nicaragua, with support from DANIDA, have an active program of tree improvement, including the establishment of seed stands and orchards of a number of native and exotic species.

Although there is currently some activity in forest genetic resource management in Central America, as noted above, much of the work may be being carried out sub-optimally because of ignorance of the characteristics of the resource base. In many key species, conservation activities have been insufficient to halt the continued depletion of

populations, with the associated erosion of genetic diversity. The three components of genetic resource management have generally been implemented in an uncoordinated, essentially *ad hoc* fashion. This neglect of the principles of effective resource management has led to a series of specific deficiencies in the management of Central American forest genetic resources, which are considered in the next section.

Deficiencies in forest genetic resource management in Central America

A key problem is that the genetic resource base of most species is being used in ignorance of its basic characteristics. For example, seed collections are being made for reforestation or genetic improvement purposes when the geographical ranges of the species concerned are inadequately known. In addition, plantations are being established in ignorance of the genetic variation within species, which has led to losses in productivity, and even to plantation failure (Mesén *et al.* 1994). For example, within the tropical wet zone of Costa Rica, there exist plantations of *Cordia alliodora* established with seed from the dry zone. These plantations show poor growth and form, as would be predicted from the international provenance trials of this species (Greaves and McCarter 1990). In Costa Rica, cases such as this are increasingly rare, but it is vital that other Central American countries learn from such mistakes as they begin their reforestation programmes.

Information is also lacking on the reproductive biology and genetic systems of most forest tree species. Knowledge of these aspects is vital if genetic variation is to be used and conserved effectively. Without such basic information on the nature of the resource, conservation strategies - either *in* or *ex situ* - can only be based on guesswork. At present, there is only one non-coniferous native Central American tree species of commercial importance whose reproductive biology and genetic system are known in any detail, namely *Cordia alliodora* (Boshier 1993).

The genetic resources of many species are being steadily eroded by deforestation, such that some species of great current or potential value are now considered rare or endangered. For example, international concern has resulted in two mahogany species (*Swietenia humilis* and *S. mahagoni*) being listed on Appendix II of the Convention on International Trade in Endangered Species (CITES) (Rodan *et al.* 1992). In the case of some high-value species that are exploited but not currently planted, there is real danger of extinction at the national or regional level. This process can only be halted by developing coordinated national and regional strategies of forest genetic conservation.

Another problem is the lack of awareness of the role of genetics in silviculture, or of the possibilities offered by tree improvement methods. The use of clonal methods, for example, which offer great potential in overcoming seed supply problems and in facilitating rapid improvement in the genetic quality of planting stock, has so far been restricted to a few industrial companies. The same techniques could now be made available to smallholder farmers (Mesén *et al.* 1992). In addition, much natural forest management is carried out in ignorance of its genetic consequences. Little is known as to how far regeneration activities might affect the population genetics of forest tree species, or of the implications of such effects for the genetic conservation functions of managed forests. It is conceivable that inappropriate management of natural forests might

contribute to genetic erosion (Zobel and Talbert 1984).

Many existing forest genetic resource activities are dependent on external donors, and are short-term in nature. Genetic conservation and improvement are necessarily long-term tasks. Many of the existing activities are also essentially 'top-down' in nature, with little or no participation of client groups in the formulation of objectives or the processes adopted. Without the participation of local communities, comprehensive strategies for use and conservation of forest resources cannot succeed.

Recognition of deficiencies such as these is vital if they are to be remedied successfully. Some positive steps which could be taken towards the development of an integrated management system for forest genetic resources are described in the next section.

Strategies for the future

It is clear that a regional approach to forest genetic resource management, involving coordination of activities between all the countries in the region, is required. Tree species do not respect national boundaries, and many important species are distributed throughout the region. Such regional planning needs international coordination, which may best be achieved by specific structures created for the task. Organizations which already have a regional remit, such as CATIE, have a particular role to play in this regard. Coordination is also required, on both a national and a regional scale, between those organizations currently involved in aspects of genetic resource management.

Conservation and use of genetic resources need to be integrated, to ensure that the resource is used sustainably. Timber harvesting is not necessarily incompatible with genetic conservation (Ledig 1988). Forests may be managed in a way that ensures adequate regeneration and maintenance of genetic variation, while producing marketable products. Populations of trees outside protected parks and reserves are an important part of the genetic resources of the region, and approaches are needed which will enable the legitimate needs of local communities to be met, while ensuring conservation objectives are not compromised. The participation of local communities in this process is essential: farmers will need economic incentives to conserve a particular patch of forest.

There is a clear need for research into characterization of genetic resources, and into methods of genetic improvement and management. Techniques such as isozymes and molecular markers, used in conjunction with traditional morphological approaches, could be of great value in quantifying genetic variation, and for development of effective guidelines for conservation and use. Such research and development requires significant financial support, together with training and infrastructural development where appropriate. Again, coordination of effort between research organizations is vital if unnecessary duplication is to be avoided.

Finally, the integrated management of forest genetic resources requires support from policy makers and national governments. Existing forest policies largely neglect genetic aspects: for example, incentives for reforestation generally make no reference to the

sources of germplasm to be used. Only with the support and direction of national governments will genuinely sustainable methods of genetic resource management be implemented on a significant scale.

Acknowledgements

The CATIE PMGF is currently supported by the UK Overseas Development Administration.

References

- Barnes, R. D. 1988. Tropical forest genetics at the Oxford Forestry Institute. *Commonwealth Forestry Review* 67(3): 231-243.
- Boshier, D. H. 1993. A study of the reproductive biology of *Cordia alliodora* (R. and P.) Oken. D. Phil. thesis, University of Oxford, Oxford.
- Brewbaker, J. L. and Sorensson, C. T. 1994. Domestication of lesser-known species of the genus *Leucaena*. p. 195-204. In R. R. B. Leakey and A. C. Newton (eds.). *Tropical trees: the potential for domestication and the rebuilding of forest resources*. HMSO, London.
- Chalmers K. J., Waugh, R., Sprent, J. I., Simons, A. J. and Powell, W. 1992. Detection of genetic variation between and within populations of *Gliricidia sepium* and *G. maculata* using RAPD markers. *Heredity* 69: 465-472
- Clement, C. R. and Villachica, H. 1994. Amazonian fruits and nuts: potential for domestication in various agroecosystems. p. 230-238. In R. R. B. Leakey and A. C. Newton (eds.). *Tropical trees: the potential for domestication and the rebuilding of forest resources*. HMSO, London.
- Collins, M. 1990. *The last rainforests*. Rodale Press Inc., Pennsylvania.
- Corea, E. A. , Cornelius, J. P. and Mesén, J. F. 1993. Variación de importancia económica en *Cordia alliodora*. Congreso 'Semana Científica', CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Cornelius, J., Corea, E. and Mesén, J. F. 1994. Participatory management and conservation of Central American Forest Genetic Resources 1995-2001. Project proposal and strategy document. Forest Genetics Resources Unit, CATIE, Costa Rica. 51 p.
- Dvorak, W. S. and Donahue, J. K. 1993. Reseña de investigaciones de la cooperativa CAMCORE 1980-1992. North Carolina State University. 94 p.
- Gilpin, M. E. and Soulé, M. E. 1986. Minimum viable populations: processes of species extinction. p. 19-34. In M. E. Soulé (ed.). *Conservation biology: the science of scarcity and diversity*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.

Greaves, A. and McCarter, P. S. 1990. *Cordia alliodora*: a promising tree for tropical agroforestry. Tropical Forestry Papers No. 22. Oxford Forestry Institute, Oxford, UK. 37p.

Hamrick, J. L., Godt, M. J. W. and Sherman-Broyles, S. L. 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New Forests* 6(1-4): 95-124.

Janzen, D. 1986. The eternal external threat. p. 286-303. *In* M. E. Soulé (ed.). *Conservation biology: the science of scarcity and diversity*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.

Ledig, F. T. 1986. Conservation strategies for forest gene resources. *Forest Ecology and Management* 14: 77-90.

Ledig, F. T. 1988. The conservation of diversity in forest trees. *Bioscience* 38(7): 471-479.

Lovejoy, T. E., Bierregaard, R. O., Rylands, A. B., Malcolm, J. R., Quintela, C. E., Harper, L. H., Brown, K. S., Powell, A. H., Powell, G. V. N., Schubart, H. O. R. and Hays, M. B. 1986. Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments. p. 257-286. *In* M. E. Soulé (ed.). *Conservation biology: the science of scarcity and diversity*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.

Loveless, M. D. 1992. Isozyme variation in tropical trees: patterns of genetic organization. *New Forests* 6(1-4): 67-94.

Mesén, J. F., Boshier, D. H. and Cornelius, J. P. 1994. Genetic improvement of trees in Central America, with particular reference to Costa Rica. p. 249-255. *In* R. R. B. Leakey and A. C. Newton (eds.). *Tropical trees: the potential for domestication and the rebuilding of forest resources*. HMSO, London.

Mesén, J. F., Leakey, R. R. B. and Newton, A. C. 1992. Hacia el desarrollo de técnicas de silvicultura clonal para el pequeño finquero. *El Chasqui* 28: 6-18.

Morán, B. 1993. Reforestación en marcha: viveros familiares en la cuenca del canal de Panamá. *Revista Forestal Centroamericana* 2(2): 44.

Myers, N. 1986. Tropical deforestation and a mega extinction spasm. p. 394-409. *In* M. E. Soulé (ed.). *Conservation biology: the science of scarcity and diversity*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.

Newton, A. C., Leakey, R. R. B., Powell, W., Chalmers, K., Waugh, R., Tchoundjeu, Z., Mathias, P. J., Alderson, P. G., Mesén, J. F., Baker, P. and Ramnarine, S. 1994. Domestication of mahoganies. p. 256-266. *In* R. R. B. Leakey and A. C. Newton (eds.). *Tropical trees: the potential for domestication and the rebuilding of forest resources*. HMSO, London.

Palmberg C. 1993. Present status of forest plantations and tree improvement in the

Americas, with special reference to tropical America. Invited paper presented at the First Pan-American Forestry Congress, Curitiba, Brazil, 19-24 September 1993.

Rodan, B. D., Newton, A. C. and Verissimo, A. 1992. Mahogany conservation: status and policy initiatives. *Environmental Conservation* 19: 331-338.

Sader, S. A. and Joyce, A. T. 1988. Deforestation rates and trends in Costa Rica, 1940 - 83. *Biotropica* 20: 11-19.

Sharma, N. P. (ed.) 1992. *Managing the world's forests*. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa.

Simons, A. J., MacQueen, D. J. and Stewart, J. L. 1994. Strategic concepts in the domestication of non-industrial trees. p. 84-90. *In* R. R. B. Leakey and A. C. Newton (eds.). *Tropical trees: the potential for domestication and the rebuilding of forest resources*. HMSO, London.

Smith, N. J. H., Williams, J. T., Plucknett, D. L. and Talbot, J. P. 1992. *Tropical forests and their crops*. Cornell University Press, Ithaca, New York.

Styles, B. T. 1981. Swietenioideae. p. 359-418. *In* T. D. Pennington, B. T. styles and D. H. Taylor (eds.). *Meliaceae*. (Flora Neotropica Monograph no. 28). New York Botanical Garden, New York.

Tompsett, P. B. 1994. Capture of genetic resources by collection and storage of seed: a physiological approach. p. 61-71. *In* R. R. B. Leakey and A. C. Newton (eds.). *Tropical trees: the potential for domestication and the rebuilding of forest resources*. HMSO, London.

Whitmore, T. C. 1990. *An introduction to tropical rainforests*. Clarendon Press, Oxford.

Zobel, B. and Talbert, J. A. 1984. *Applied forest tree improvement*. Wiley, New York.

Table 1: Average annual deforestation rates in the 1980s for the seven countries of Central America

	Area (kha)	% of total
Belize	9	0.6
Costa Rica	65	3.6
El Salvador	5	3.2
Guatemala	90	2.0
Honduras	90	2.3
Nicaragua	121	2.7
Panama	36	0.9

Source: Whitmore (1990); Sharma (1992)

Table 2: Estimated human population (in millions) in five Central American countries

	1980	2000	2090
Costa Rica	2.2	3.3	4.8
Guatemala	7.2	12	24
Honduras	3.7	6.7	16
Nicaragua	2.6	4.7	10.8
Panama	1.8	2.8	4.3

Source: Myers (1986) (Data not available for El Salvador and Belize)

Table 3: Results from a provenance test of *Cordia alliodora* at seven years of age in Santa Clara, San Carlos, Costa Rica. Trial established by the Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE

Provenance	Country of origin	Total volume (m ³ ha ⁻¹)
Nueva Guinea	Nicaragua	65
San Carlos	Costa Rica	51
Finca Rincón Alegre	Guatemala	47
Turrialba	Costa Rica	46
La Ceiba	Honduras	40
San Pedro	Honduras	37
Choluteca	Honduras	33
Estelí	Nicaragua	33
Limón	Costa Rica	33
San Carlos	Costa Rica	30
Matagalpa	Nicaragua	29
Turrialba	Costa Rica	22
Guápiles	Costa Rica	15
Finca El Chilero	Guatemala	11

Source: Corea *et al.* (1993)

Table 4: Provenance variation in a range of timber species in trials in Costa Rica. Trials established by the Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE.

Species	Provenance	Increase in productivity compared to the mean value in the trial
<i>Acacia mangium</i>	Abergowrie, Australia	90%
<i>Acacia mangium</i>	Claudie River, Australia	40%
<i>Cordia alliodora</i>	San Francisco, Honduras	89%
<i>Cordia alliodora</i>	Santa Clara, Costa Rica	88%
<i>Cordia alliodora</i>	Nueva Guinea, Nicaragua	85%
<i>Eucalyptus grandis</i>	Gympie, Australia	276%
<i>Eucalyptus urophylla</i>	SW Isla Lembata, Australia	42%
<i>Gmelina arborea</i>	Jari, Brazil	39%
<i>Gmelina arborea</i>	Manila, Siquirres, Costa Rica	33%
<i>Pinus tecunumanii</i>	Yúcul, Nicaragua	26%
<i>Pinus tecunumanii</i>	Yúcul, Nicaragua	98%

Source: Corea *et al.* (1993)

Table 5: Estimates of genetic diversity (H_0) within populations of *Gliricidia sepium* using RAPDs

Location	Genetic diversity
Costa Rica	1.277
Costa Rica	1.382
Guatemala	1.512
Mexico	1.384
Nicaragua	1.754
Panama	0.416
Thailand	1.174
Venezuela	0.160

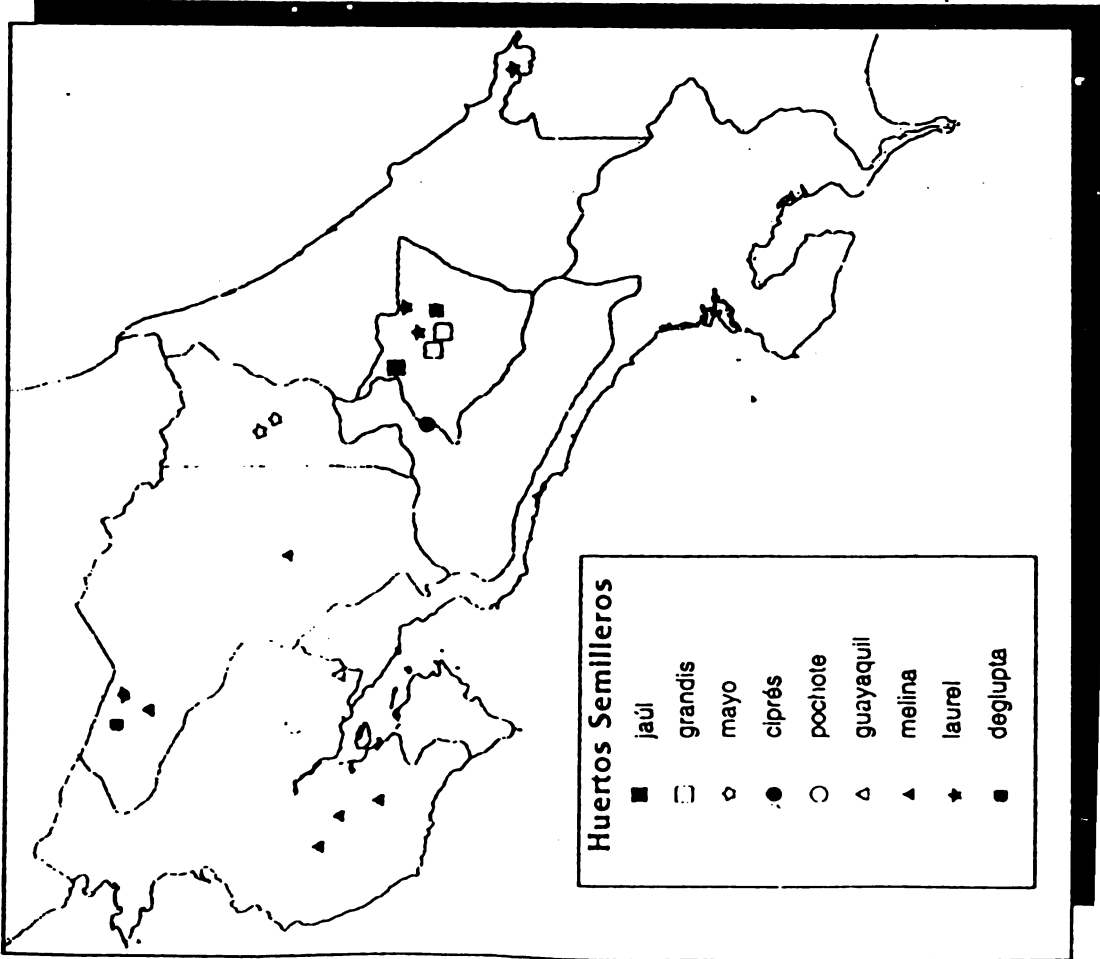
Source: Chalmers *et al.* (1992). Estimates of genetic diversity (H_0) obtained using Shannons information measure, $H_0 = -\sum p_i \log_2 p_i$, where p_i is the phenotypic frequency.

Table 6: Tree improvement activities by species in the Central American region

Species	Prov. trials	No. Plus trees	Prog. tests	Seed stands	Seed orch.	Cloning
<i>Acacia mangium</i>	10			2		x
<i>Albizia guachapele</i>	2	54	2		1	x
<i>Alnus acuminata</i>	1	52	1		1	x
<i>Araucaria hunsteinii</i>	2					x
<i>Bombacopsis quinata</i>	6	117	3	1	3	x
<i>Calliandra calothyrsus</i>	4					
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	2					
<i>C. equisetifolia</i>	5					
<i>Cedrela odorata</i>	1	31	1			x
<i>Cordia alliodora</i>	8	163	5		5	x
<i>Cupressus lusitanica</i>	6	45	2	2	1	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	13		4	4	2	
<i>E. deglupta</i>	3	55	4	1	5	x
<i>E. grandis</i>	3		2	2	2	
<i>E. saligna</i>	5		1			x
<i>E. tereticornis</i>	2					
<i>E. urophylla</i>	3			1		
<i>Gliricidia sepium</i>	12	177	2	1		x
<i>Gmelina arborea</i>	9	65	8	14	8	x
<i>Guazuma ulnifolia</i>	2					
<i>Inga spp.</i>	4					x
<i>Leucaena leucocephala</i>	11	24	2	4		
<i>Pinus caribaea</i>	20	1218	6			
<i>P. oocarpa</i>	8		2			
<i>P. tecunumanii</i>	4	801	5		2	
<i>Swietenia macrophylla</i>	2	36	2			x
<i>Tectona grandis</i>	3			11		x
<i>Vochysia guatemalensis</i>	4	61	3		3	x

Symbols: x indicates that the species has been propagated vegetatively, either by leafy cuttings or stakes. Abbreviations: prov., provenance; prog., progeny; orch., orchard. Source: Mesén *et al.* (1994.). Based on the activities of PMGF (CATIE), COSEFORH (Honduras) and MADALEÑA (CATIE) projects only, and therefore not comprehensive.

El Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE: 17 años de investigación al servicio de finqueros pequeños y medianos



Al final de los '70 inició sus actividades el Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE.

Desde entonces, el Proyecto MGF ha hecho importantes contribuciones al sector forestal, en los campos de información, tecnología y semilla mejorada.

Información sobre genética de especies forestales plantadas en Costa Rica

A través de sus ensayos de campo en todo el país, el Proyecto MGF ha producido información valiosa sobre especies como ciprés, deglupta, grandis, jaúli, laurel, mangium, mayo, melina, pino tecuman y diferentes especies de eucalipto. Esta información está disponible en forma resumida en una hoja de comunicación rápida, distribuida por el Proyecto cada tres meses y cada vez que se genere nueva información importante.

Tecnología

El Proyecto ha desarrollado un paquete tecnológico para la propagación vegetativa de especies forestales. La tecnología es simple y depende únicamente de materiales fácilmente adquiridos en el país. Utilizando esta tecnología, se puede pro-

ducir material para plantar de especies con escasa disponibilidad de semillas, problema que en la actualidad está limitando la producción de especies como mayo, neem y pilón. Además, la propagación es una de las técnicas utilizadas en la selección clonal. Los sistemas de propagación vegetativa desarrollados por el Proyecto ya están siendo utilizados en diversas zonas del país.

Semilla mejorada

Durante los últimos 8 años el Proyecto ha logrado conformar una red de huertos semilleros para la producción de semillas genéticamente comprobadas (ver mapas). Algunos de los huertos ya están en producción, mientras otros entrarán en producción en los próximos dos años. Además, el Proyecto ya tiene disponible semilla de árboles semilleros genéticamente comprobados de ciprés, jaúli y deglupta.

El Proyecto MGF está apoyado actualmente por los gobiernos británico y noruego y por la Unión Europea. Para más información comuníquese con Jonathan Comelius, CATIE, Turrialba; fax 556 1533, Tel. 556-0026, email jcomeli@computo.catie.ac.cr.

Mejoramiento genético forestal para II. Necesidades actuales y fut

JONATHAN CORI
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Ense
Desarrollo en Ultra

Resumen

Se señalan diversos vacios y necesidades en el mejo
Central, incluyendo la urgencia de aumentar el número
mejoramiento a zonas y países donde actualmente la ac
calificado a todos niveles; el poco conocimiento científico
continua de las bases genéticas de muchas especies; la imp
la investigación; la necesidad de implementar programas es
lugar de depender excesivamente en proyectos de corto plazo.

Introducción

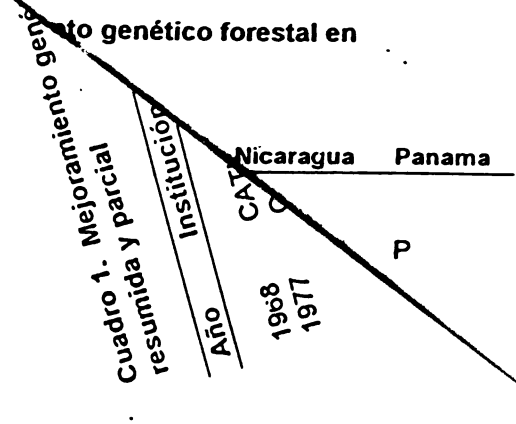
Hace apenas 10 años, casi no habia actividad de mejoramie
Central. Hoy día, aunque la actividad todavía es poca, cada año
mientras los profesionales forestales demuestran cada vez más in
manejo de los los recursos genéticos forestales de sus países y de la región. Por lo tanto,
pareciera oportuno señalar algunas deficiencias y vacios cuya corrección podría aumentar la
contribución del mejoramiento genético forestal al desarrollo forestal en América Central.

A continuación, se considera brevemente el estado actual de mejoramiento genético forestal en
América Central. Posteriormente, se consideran factores que afectan la eficiencia y éxito de tales
actividades, con referencia a los recursos humanos/técnicos y genéticos, el conocimiento
científico, la divulgación y uso de los productos de la investigación y, finalmente, el marco
conceptual/estratégico dentro del cual se practica el mejoramiento genético forestal.

Mejoramiento genético forestal en América Central: estado actual y necesidad de nuevas actividades

El estado actual de mejoramiento genético forestal en América Central se resume en los cuadros 2
y 3. Por una parte, es sorprendente la cantidad de actividades en marcha, particularmente en
cuanto a la diversidad y cantidad de especies, a la vez hay ciertos vacios obvios. En tres de los
países (El Salvador, Guatemala, Panamá) casi no hay mejoramiento más allá de la etapa de
ensayos de procedencias. Además, es importante destacar que, en Costa Rica y, particularmente,
Honduras y Nicaragua, el trabajo de mejoramiento de muchas especies ha sido limitado a ciertas
zonas de cada país. En otras zonas, para la mayoría de las especies, el estado de avance es
parecido al de El Salvador, Guatemala y Panamá. Finalmente, es importante notar la ausencia
casi total de investigación de procedencias de especies nativas.

En las condiciones centroamericanas, el mejoramiento genético forestal es justificable en términos
financieros con tasas anuales de reforestación bastantes bajos (Comelius, 1996; Hamilton,
Chandler, Brodie y Comelius, 1995). Por lo tanto, y con base en los evidentes vacios existentes,
se podría concluir que la necesidad más elemental en mejoramiento genético forestal en América
Central es aumentar la cantidad de actividad de mejoramiento genético forestal, tanto a nivel de
zona (dentro de país) como a nivel nacional, hasta que haya programas de mejoramiento para
todas las especies principales en todos los países y zonas donde son de importancia.
Lógicamente, el tipo de actividad - ensayos de procedencias, o actividades más avanzadas -
variaría según las circunstancias.



Cuadro 1. Mejoramiento genético forestal en América Central 1969-1996: una historia resumida y parcial

Año	Institución	País	Actividades
1968	CATIE	Costa Rica	Primer ensayo de procedencias
1977	CATIE / ODA	Costa Rica	Proyecto Mejoramiento Genético Forestal inicia actividades (ensayos de procedencias, progenies, huertos semilleros, propagación vegetativa (1991-1996) y selección clonal (1994-1996))
1978	ESNACIFOR	Honduras	Proyecto de Mejoramiento Genético de <i>Pinus</i> . Establecimiento de ensayos de procedencias. Discontinuado c.1982.
1981	CATIE / Organismos nacionales	Todos	Inicia Proyecto Leña (1981-85); después Madeleña (1986-1996). Ensayos de procedencias y rodales semilleros.
1983	MARENA / DANIDA	Nicaragua	Formación de CMG-BSF (Centro de Mejoramiento Genético-Banco de Semillas Forestales). Ensayos de procedencias, huertos semilleros (1992-1996)
1986	COHDEFOR / ODA	Honduras	Inicia Proyecto Conservación y Silvicultura de Recursos Forestales Hondureños (CONSEFORH). Huertos semilleros.
1989	CATIE	Costa Rica	Aumento en escala y cantidad de actividades del Proyecto MGF (apoyo adicional noruego y estadounidense)
1990	CATIE	todos	Se dicta primer Curso Corto sobre Mejoramiento Genético Forestal (en 1995, quinto curso)
1990	Ston Forestal S.A.	Costa Rica	Inicia mejoramiento de <i>Gmelina arborea</i>
¿1991?	Los Nacientes	Costa Rica	Inicia mejoramiento de <i>Gmelina arborea</i>
1992	Reforestadora Simpson S.A.	Guatemala	Inicia mejoramiento de <i>Gmelina arborea</i>
1992	MARENA / DANIDA	Nicaragua	Se inauguran nuevas instalaciones del CMG con extensivos campos experimentales
1993	CATIE / DANIDA	todos	Inicia actividades Proyecto de Semillas Forestales (PROSEFOR). Rodales semilleros y sistemas de certificación de semilla
1993	OET / ITCR	Costa Rica	Inicia Proyecto Reforestación con especies nativas de la zona sur (ensayos de procedencias)
1995	MARENA / DANIDA	Nicaragua	Se publica "Estrategia integrada para el suministro de semillas forestales, mejoramiento genético y conservación"

Cuadro 2. Matriz (especie-país) de actividades de mejoramiento genético forestal en América Central, al 1995¹

ACTIVIDAD ²	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
<i>Acacia mangium</i>	P	P	P	P		P
<i>Albizia guachepele</i>	D			D HN		
<i>Albizia saman</i>				HN		
<i>Alnus acuminata</i>	P D HN					
<i>Azadirachta indica</i>					P D	
<i>Bombacopsis quinata</i>	D HN			D H	D	HN
<i>Calophyllum brasiliense</i>						
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	P					
<i>C. equisetifolia</i>	P		P			
<i>Cedrela odorata</i>	P D				D	
<i>Cordia alliodora</i>	P D HN C			D HN		
<i>Cupressus lusitanica</i>	P D					
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>				D HN		
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	P	P	P	P D H	D	P
<i>Eucalyptus citriodora</i>				D H		
<i>Eucalyptus deglupta</i>	D					
<i>Eucalyptus grandis</i>	D	P		D H		
<i>Eucalyptus saligna</i>	P	P				
<i>Eucalyptus tereticornis</i>		P	P	D H		P
<i>Gliricidia sepium</i>	P	P	P	P D H		
<i>Gmelina arborea</i>	P D HN H C		P C	P		
<i>Guazuma ulmifolia</i>	P		P			
<i>Hieronyma oblonga</i>	P D					
<i>Hymenea courbaril</i>				D HN		
<i>Leucaena leucephala</i>				P		P
<i>Leucaena salvadorensis</i>				D H	D	
<i>Pinus caribaea var. hondurensis</i>	P D		P	D HN		
<i>Pinus oocarpa</i>	P D					
<i>Pinus patula ssp. tecunumanii</i>	P D HN					
<i>Swietenia humilis</i>	D HN			D HN		
<i>Swietenia macrophylla</i>	P D					
<i>Tectona grandis</i>					P	
<i>Terminalia amazonia</i>	P D					
<i>Vochysia ferruginea</i>	P					
<i>Vochysia guatemalensis</i>	D HN C					

^{1/} Los más de 300 rodales semilleros de diferentes categorías en América Central se listan en el Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales No. 11 (publicado por CATIE), por lo cual no se incluyen rodales semilleros en el cuadro; ^{2/} P=ensayos de procedencias, excluyendo ensayos con menos de 5 procedencias; D=ensayos de descendencias; HN = huertos semillero, no en producción; H = huerto semillero en producción; C = ensayos clonales

Recursos humanos / técnicos

En América Central, existen evidentes deficiencias, a todos niveles, en cuanto a la cantidad de personas capacitadas en diferentes aspectos del mejoramiento genético forestal. La deficiencia más "visible" es a nivel científico: el número de centroamericanos especializados (MS/ Ph.D.) en el campo es menos de diez, una fracción minúscula del número total de postgraduados forestales en América Central. Sin embargo, existen deficiencias también a nivel de los profesionales no especializados (ingenieros forestales, dasónomos) y también a nivel del personal asistente (ej. técnico medio forestal). Para aplicar los resultados del mejoramiento, y para participar en los programas de mejoramiento, tales personas necesitan un nivel de preparación básica en el mejoramiento genético forestal que actualmente no están proporcionado adecuadamente los diferentes instituciones educativas de la región. Esta situación podría ser corregida no solamente a través de cambios en curricula, sino también mediante cursos de capacitación.

Recursos Genéticos

Especies exóticas

La falta de una base genética adecuadamente amplia ha sido limitante en el mejoramiento genético de por lo menos dos especies exóticas (por esta razón, en 1989 el Proyecto MGF del CATIE decidió no iniciar actividades de mejoramiento con teca y mangium). En otros casos, mientras la base genética actual en determinada país puede ser adecuada en términos de diversidad genética, el mejoramiento (en el sentido de selección dentro de procedencia) no se justifica, debido a dudas sobre la calidad del material local (ej. diferentes especies de *Eucalyptus* en El Salvador). En ambos casos, la solución es la importación de nuevo material. Las instituciones internacionales podrían tomar un papel muy importante en este proceso. Hasta cierto punto, el problema podría resolverse a nivel regional. Por ejemplo, en Honduras y Nicaragua hay material de las mejores procedencias de especies como *E. camaldulensis*, *E. grandis*, *E. tereticornis*, el cual, dependiendo de políticas nacionales, podría compartirse con países vecinos.

Especies nativas

La base genética de muchas especies nativas está amenazada, principalmente por la deforestación, la cual puede causar la pérdida total de poblaciones, o directamente e inmediatamente, o, a lo largo de varias generaciones, a causa de la fragmentación forestal (Young, 1995). Como ilustración, se podrían mencionar las siguientes poblaciones amenazadas o ya desaparecidas: *Abies guatemalensis* en Tonicapán, Huehuetenango, Guatemala (com. pers., Luis Fernando Jara, CATIE); *Bombacopsis quinata* en el sector del pacífico de Nicaragua; *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en la Isla de Roatán, Honduras; *Swietenia macrophylla* (del atlántico) en Costa Rica. La conservación genética *in situ* de tales poblaciones no es inconsistente con su explotación; sin embargo, todavía falta la información científica básica para poder diseñar estrategias efectivas para lograr este fin, así como la voluntad política de ponerlas en práctica.

El conocimiento científico

Ni la conservación genética *in situ*, ni el mejoramiento genético, puede practicarse con plena eficiencia si se desconoce información científica básica. Por ejemplo, Boshier (1995) demostró que, dentro de poblaciones de laurel, debido al mecanismo de incompatibilidad, existe una probabilidad de 50% que dos árboles sean reproductivamente incompatibles. Similarmente, Flores (1993) presentó datos que sugieren que *Vochysia guatemalensis* es una especie predominantemente autógena. En la actualidad, la información básica de este tipo no existe para la mayoría de las especies de interés, particularmente las especies nativas. Dada su importancia práctica, se debería reconocer - y no solo con palabras - el gran valor de estudios de biología reproductiva y genética de poblaciones.

Uso de los productos de la investigación

La investigación, por excelente que sea, es inútil si no se aprovechan sus resultados. Desafortunadamente, muy comúnmente los resultados de la investigación en el mejoramiento genético forestal en América Central no se han aprovechado a plenitud. Entre las razones más comunes por esta situación están las siguientes:

- a veces, los investigadores no publican los resultados;
 - se publican los resultados, pero la semilla mejorada no está disponible (no tiene mucho sentido establecer un ensayo de procedencias de una especie exótica si no se establecen mecanismos para la importación posterior de la mejor procedencia);
 - se publican los resultados en un medio accesible, pero no son utilizados, por una variedad de razones (ej. exceso de información, tal que es difícil mantenerse al tanto de todo; escepticismo o falta de interés y motivación profesional);
- Todos estos casos se dan con regularidad. En los primeros dos casos, la solución es evidente. En el tercer caso, la mejor solución es complementar la información impresa con días de campo basadas sobre parcelas demostrativas (germoplasma mejorado vs. germoplasma inferior o regular), las cuales pueden convencer a los más escépticos e interesar a los menos interesados en consultar información escrita.

Un enfoque alternativo o complementario a la divulgación de información (sobre semilla mejorada) es concentrar esfuerzos más en la divulgación de la semilla en sí. En muchos casos, es posible introducir semilla mejorada al sistema actual de distribución de semilla y plantas sin que esto sea decisión explícita de los reforestadores. Por ejemplo, la semilla de los huertos semilleros de melina establecidos por el Proyecto MGF del CATIE en diferentes partes de Costa Rica será vendida por los propietarios de los huertos (los cuales se encuentran en fincas privadas) a viveristas comerciales o bien utilizada para hacer viveros propios. De esta manera, la semilla mejorada entrará "automáticamente" en uso.

El marco conceptual: la necesidad para estrategias realistas de largo plazo

Mientras que, en los mejores programas de mejoramiento genético forestal a nivel mundial, las actividades inmediatas (ej. establecimiento de huertos semilleros, etc.) se realizan dentro del marco de una estrategia de mejoramiento de largo plazo, la mayoría de las acciones resumidas en el cuadro 2 han sido actividades esencialmente puntuales, ejecutadas en forma independiente y hasta *ad hoc*, es decir sin referencia a una estrategia de largo plazo. Probablemente, esta situación se ha dado por dos razones principales: la percepción que el mejoramiento genético forestal de largo plazo no es factible en América Central, y el hecho que las actividades de mejoramiento genético forestal han sido ejecutadas en su mayoría por proyectos finitos de 3-10 años, cuyo personal además comparten dicha percepción. Como consecuencia de esta deficiencia, casi no existen en América Central programas de mejoramiento, sino únicamente proyectos de mejoramiento, una situación anómala para una actividad esencialmente continua y de largo plazo.

La idea que el mejoramiento genético forestal de largo plazo no es factible en América Central se debe más que todo a una percepción que esta actividad tiene que ser costosa y sofisticada. En realidad, lo que caracteriza el mejoramiento genético de largo plazo es sobre todo la estructuración de la población de mejoramiento; la selección en sí puede proceder con cualquier combinación de selección genotípica (es decir con base en ensayos) o fenotípica, y sin o con la realización de cruces controlados. Las técnicas usadas deben obedecer a las capacidades de las organizaciones involucradas. Inevitablemente, los árboles de hoy son los progenitores de la próxima generación de árboles, y así *ad infinitum*. En América Central, es necesario decidir si el traspaso de una generación para otra seguirá siendo un proceso caótico y no manejado, o si sería mejor dirigir y aprovechar el proceso a través del mejoramiento genético forestal de largo plazo, para que con cada generación el germoplasma disponible sea mejor. Es decir, hay que decidir si es mejor tener programas (o sea de largo plazo) de mejoramiento, o si es mejor seguir con la situación actual de proyectos finitos, interrumpidos por períodos de estancamiento. Asumiendo que el anterior es la opción preferida, a continuación se describen tres características que debe reunir un programa de mejoramiento exitoso.

Características de un programa sostenible a largo plazo. 1. Objetivos claros y explícitos. Si un programa se considera como un grupo y secuencia de acciones conducentes a un fin

determinado, entonces por su naturaleza debe tener objetivos claros y explícitos. Sin objetivos claros y explícitos, realmente no hay programa. Se trata, esencialmente, de especificar cuales especies y características se mejorarán, para cuales zonas, y con cuales técnicas.

Características de un programa sostenible a largo plazo. 2. Realismo. Si se quiere asegurar el progreso continuo a largo plazo, los programas deben ser realistas, lo que significa principalmente que deben ser factibles aún en las condiciones presupuestarias más difíciles. Sobre todo, el realismo implica la flexibilidad y conciencia de la existencia de opciones de bajo costo de mejoramiento. El único requisito para lograr algún progreso (la "domesticación lenta de variedades plantacionales" descrita por Libby (1973)) es el control sobre movimiento de semilla entre diferentes zonas de plantación.

Características de un programa sostenible a largo plazo. 3. Independencia. En gran medida, la independencia es posibilitada por el realismo y el tener objetivos claros y explícitos. En un programa independiente, si se logran atraer fondos externos adicionales, éstos se utilizan para lograr más rápidamente los objetivos del programa, en lugar de simplemente ejecutar otro proyecto cortoplazista cuyos objetivos puede o puede no corresponder exactamente con los del programa, y cuyos objetivos pueden ser cambiados en cualquier momento por decisión del donante.

Cabe destacar que, en América Central, el punto de partida para el mejoramiento de muchas especies debería ser el rodal semillero, pero no en el sentido de una solución temporal, como siempre se ha insistido. En muchos casos, la etapa posterior al rodal semillero actual debería ser no el huerto semillero, sino el rodal semillero de segunda generación; es preferible implementar ya programas de mejoramiento que sean factibles en la actualidad, en lugar de esperar 10 o 15 años (o para siempre) para fondos que tal vez nunca lleguen.

Conclusiones

El mejoramiento genético forestal en América Central ha avanzado enormemente en las últimas dos décadas. Sin embargo, existen en actualidad deficiencias y necesidades muy grandes. Para muchas especies y en muchas partes de América Central, hace mucha falta iniciar actividades nuevas. Sin embargo, entre los impedimentos a tal expansión están la falta de personal calificado a todos niveles, el poco conocimiento científico sobre muchas especies y la erosión continua de las bases genéticas de muchas especies. Además, es importante enfatizar que, antes de iniciar nuevas actividades, es necesario aprovechar a plenitud las actividades que ya se han realizado. Finalmente, para que se logre un mejoramiento sostenible a largo plazo, se necesita reorientar las actividades de mejoramiento para que reflejen mejor las capacidades de las instituciones involucradas, lo cual implica un cambio grande en énfasis; específicamente, menos dependencia en y dominancia por proyectos finitos.

Agradecimiento

Agradezco la revisión del borrador por el MS Luis Fernando Jara (CATIE).

Referencias

- Boshier, D.H. 1995. Population genetics of *Cordia alliodora* (Boraginaceae), a neotropical tree. 3. Gene flow, neighbourhood and population substructure. *Amer. J. Bot.* 82(4): 484-490.
- Comelius, J.P. 1996. Mejoramiento Genético Forestal para finqueros pequeños y medianos en América Central: resultados y experiencias de 17 años de investigación en Costa Rica. Pp., este volumen.
- Flores, E.M. 1993. Chancho blanco (white yeneri). *Arboles y semillas del neotrópico* 2 (2): 1-27.
- Hamilton, C.; Chandler, L.; Brodie, A.; Comelius, J.P. 1996. A financial analysis of a small-scale *Gmelina arborea* improvement programme in Costa Rica. Sin publicar.
- Libby, W.J. 1973. Domestication strategies for forest trees. *Can. J. For. Res.* 3: 265-277.

Young, A. 1995. Forest fragmentation: effects on population genetic processes. Proceedings, IUFRO XX World Congress 1995 (interdivisional meeting on biodiversity), Tampere, Finland.

Heritabilities and additive genetic coefficients of variation in forest trees

JONATHAN CORNELIUS

*Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica
and*

Overseas Development Administration, United Kingdom

Received November 27, 1992

Accepted August 5, 1993

CORNELIUS, J. 1994. Heritabilities and additive genetic coefficients of variation in forest trees. *Can. J. For. Res.* 24: 372-379.

Estimates of individual-tree narrow-sense heritability and additive genetic coefficient of variation of seven traits of forest trees were compiled from 67 published papers. Distributions of the values for each trait were characterized and compared by calculating medians and running Kolmogorov-Smirnov and Wilcoxon signed-rank tests. Generalizations are possible about at least some of the traits examined. Heritability of wood specific gravity was almost always above 0.3 (median 0.48). Heritabilities for other traits tended to be low: medians ranged from 0.185 to 0.26, and individual values generally ranged from 0.1 to 0.4. Evidence that heritabilities of form traits tend to be higher than those of growth traits was weak. The analysis of additive genetic coefficients of variation suggested that specific gravity tends to have lower values than other traits (median 5.1%), while height and diameter (medians 8.5 and 8.6%, respectively) had lower values than straightness (median 11.65%). Individual-tree volume showed the highest levels of additive genetic coefficient of variation (median 20.3%). The levels of additive genetic variation and heritabilities suggest that reasonable levels of genetic gain can be achieved by screening relatively low numbers of trees.

CORNELIUS, J. 1994. Heritabilities and additive genetic coefficients of variation in forest trees. *Can. J. For. Res.* 24: 372-379.

Les estimés d'héritabilité individuelle au sens strict et de coefficient de variabilité génétique additive ont été compilés pour sept caractères à partir de 67 publications. Les distributions des valeurs pour chaque caractère ont été caractérisées et comparées à l'aide des médianes et des résultats de tests de Kolmogorov-Smirnov et de tests de Wilcoxon pour échantillons appariés. Des tendances générales ont pu être observées pour certains des caractères étudiés. L'héritabilité de la densité basale du bois était presque toujours au-dessus de 0,3 (médiane 0,48). Les héritabilités des autres caractères étaient plutôt faibles : les médianes se situaient entre 0,185 et 0,26, alors que les valeurs individuelles se situaient entre 0,1 et 0,4. Il est apparu peu évident que les héritabilités des caractères de forme soient plus élevées que celles des caractères de croissance. Au niveau de l'analyse des coefficients de variabilité génétique additive, la densité basale tendait à afficher des valeurs plus faibles que les autres caractères (médiane 5,1%), alors que la hauteur et le diamètre (médiane = 8,5 et 8,6%, respectivement) affichaient des valeurs plus faibles que la rectitude (médiane 11,65%). Le volume des arbres individuels affichait les valeurs de coefficients de variabilité génétique additive les plus élevées (médiane 20,3%). Les héritabilités et niveaux observés de variabilité génétique additive suggèrent qu'une ampleur raisonnable de gain génétique puisse être obtenue en passant au crible des nombres relativement faibles d'individus.

[Traduit par la rédaction]

Introduction

In an analysis of 1120 narrow-sense heritability estimates in wild, outbred animal populations, Mousseau and Roff (1987) found that "life history" traits generally had lower heritabilities than morphological traits, while behavioural and physiological traits were intermediate. Many forest tree breeders work with essentially wild, outbred populations of forest trees, and in recent decades have published a large number of estimates of genetic variances and heritabilities, generally based on sib analysis. The present study seeks to determine whether trends similar to those observed by Mousseau and Roff (1987) might also occur in the case of traits of economic interest in forest tree populations. Specifically, the following questions are addressed:

- (1) Are there typical levels of heritability and additive genetic variation in the main traits of interest in forest tree breeding? If so, what are they?
- (2) What implications might such trends have for the genetic improvement of forest trees?

Such information may be useful in formulating breeding strategies and in the interpretation of experimental results, as well as being of theoretical interest.

Methods

Estimates of individual-tree narrow-sense heritability (subsequently referred to as heritability) and additive genetic coefficient of variation (AGCV) of tree height, tree diameter (generally at breast height), individual-tree volume, stem straightness, wood specific gravity, a diverse set of 18 morphological structural (or "morphostructural") traits (listed in Table 1), branching traits (frequency, angle, length, and thickness) were compiled from a search of literature published up to 1989. The AGCV values were calculated as

$$[1] \text{ AGCV} = 100 \left(\frac{\sigma_A}{\bar{x}} \right)$$

where σ_A is the additive genetic standard deviation and \bar{x} a phenotypic (and genotypic) mean.

Fewer data are available for AGCV than for heritability because few authors present estimates of all the parameters needed for its derivation. When additive genetic variance not presented, it was calculated from expected and observed mean squares, if possible. For half-sibs, additive genetic variance was assumed to be four times the variance due to families. Open-pollinated families were assumed to be equivalent half-sibs. This may result in overestimations because the coefficient of relationship between open-pollinated sibs may

TABLE 1. The number of estimates of heritability and additive genetic coefficient of variation (AGCV) derived from studies of *Pinus* spp., other conifers, *Eucalyptus* spp., and other broadleaves, by trait (compiled from 67 source papers, see Appendix)

Trait or trait type	Parameter	<i>Pinus</i>	Other conifers	<i>Eucalyptus</i>	Other broadleaves	Totals
Height	Heritability	90	51	12	36	189
	AGCV	78	22	12	13	125
Diameter	Heritability	60	15	6	6	87
	AGCV	42	6	6	4	58
Tree volume	Heritability	48	2	6	2	58
	AGCV	26	1	6	1	34
Straightness	Heritability	53	5	0	0	58
	AGCV	27	1	0	0	28
Morphological and structural ^a	Heritability	34	5	0	4	43
	AGCV	22	6	0	2	30
Specific gravity	Heritability	27	2	1	2	32
	AGCV	11	1	0	2	14
Branching	Heritability	47	6	0	8	61
	AGCV	17	5	0	3	25
Totals ^b	Heritability	359 (68)	86 (16)	25 (5)	58 (11)	528
	AGCV	223 (71)	42 (13)	24 (8)	25 (8)	

^aMorphological and structural traits are branch quality, cotyledon length, cotyledon number, crown depth, fibre length, foliage colour, presence of forking, form factor, number of leaders, presence of fox-tailing, leaf length, proportion of heartwood, presence of ramiforms, spiral grain, stem lean, taper, and thorn length.

^bValues in parentheses are percentages.

greater than 0.25 (Squillace 1974). In the case of full sibs, additive genetic variance was assumed to be twice the family variance. This assumption is also likely to result in overestimations because of the presence of one-quarter of the dominance variance in the full-sib family variance. Occasionally, assumptions or approximations were made of the means when these were not presented (for example, authors sometimes present family means that although in unbalanced experiments cannot be averaged to give the global mean, permit close approximation).

As the objective was to look for general trends, no attempt was made to stratify the data by taxa or age. The composition of the resulting data set, derived from 67 published studies (Appendix 1), is summarized in Table 1. About 70% of the heritability and AGCV data is derived from studies of *Pinus* species. About half the remainder is derived from studies of other conifers. This predominance of data derived from studies of conifers is least marked in the growth traits.

In the case of papers in which results of combined analyses (i.e., of various replications across sites of a field experiment) are presented, estimates based on combined data, rather than the data from the individual experiments, were collated. In those papers that present results over various years, it was thought better to keep all data for the different ages separate than attempt to derive overall representative values; that is, it was assumed that the same variable at different ages is not necessarily controlled by the same genes and, in the case of heritability, that they may be subject to differing environmental influences or nonadditive genetic effects.

In the case of subjectively assessed traits (principally stem straightness), it was assumed that scores are broadly comparable among different experiments. As the quantitative scores are usually defined in terms such as "almost straight," "moderately crooked," etc., this seems reasonable, particularly as most of the estimates derive from studies of conifers with similar growth

TABLE 2. Median and mean values of individual-tree narrow-sense heritability and additive genetic coefficient of variation (AGCV) for seven traits or trait types compiled from 67 published studies (see Appendix)

Trait or trait type	Heritability		AGCV	
	Median	Mean	Median	Mean
Height	0.25	0.28	8.50	11.10
Diameter	0.19	0.23	8.60	9.10
Volume	0.18	0.21	20.30	23.10
Straightness	0.26	0.28	11.65	16.25
Morphological and structural ^a	0.23	0.23	8.80	14.73
Specific gravity	0.48	0.50	5.10	5.34
Branching traits	0.24	0.26	8.40	16.30

^aSee Table 1 for traits.

habits. At the very least, it must be accepted that different workers are at least studying closely related traits (that is, some aspect of stem straightness) and that their pooled findings constitute information about these traits when considered as a group. The use of scales of varying width (1-4, 1-7, etc.) is not a problem; if the class values are all multiplied by two, then standard deviation also doubles and the coefficient of variation remains the same.

The data were grouped by frequency class (<0.1, ≥0.1 but <0.2, etc. for heritability; <5%, ≥5% but <10% for AGCV). Medians and mean values for each trait were also calculated. The data set for each trait was compared with that for each other set in two stages: (i) values of Kolmogorov-Smirnov *D* were calculated and (ii) paired comparisons of heritabilities and AGCV

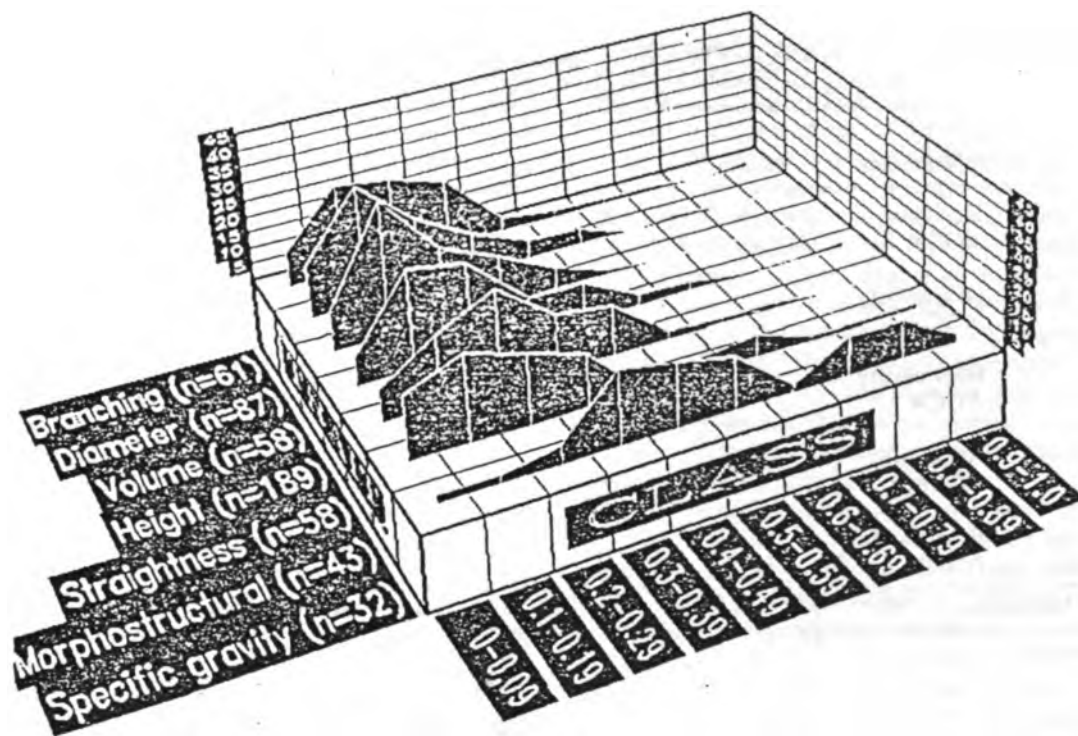


FIG. 1. Frequency distributions of narrow-sense individual-tree heritabilities of seven traits in forest trees based on information in 67 published studies (n , total number of estimates of each trait; y-axis, percentage of n that falls in each class, as represented by the central vertical line rising from each cell floor).

TABLE 3. Values and significances of Kolmogorov-Smirnov D for two-tailed comparisons of the cumulative frequency distributions of individual-tree narrow-sense heritability and additive genetic coefficient of variation (AGCV) of seven traits compiled from published studies

Trait or trait type	Parameter	Diameter	Volume	Straightness	Branching	Specific gravity	Morphological and structural
Height	Heritability	0.161ns	0.214*	0.073ns	0.112ns	0.531**	0.129ns
	AGCV	0.115ns	0.490**	0.286*	0.192ns	0.624**	0.192ns
Diameter	Heritability		0.080ns	0.207ns	0.164ns	0.611**	0.140ns
	AGCV		0.578**	0.385**	0.302ns	0.566**	0.280ns
Volume	Heritability			0.207ns	0.181ns	0.634**	0.187ns
	AGCV			0.433**	0.453**	0.882**	0.453**
Straightness	Heritability				0.110ns	0.491**	0.188ns
	AGCV				0.279ns	0.786**	0.321ns
Branching	Heritability					0.554**	0.194ns
	AGCV					0.609**	0.147ns
Specific gravity	Heritability						0.541**
	AGCV						0.595**

NOTE: *, Significant at $p = 0.05$; **, significant at $p = 0.01$; ns, not significant at $p = 0.05$.

for different traits at the same ages in the same experiments were made using the Wilcoxon signed-rank test. The null hypothesis for both procedures is that the two data sets are from common frequency distributions (Steel and Torrie 1980, p. 540; Snedecor and Cochran 1980, p. 142). The signed-rank test was run on branch thickness rather than a combination of branching traits, as only for branch thickness were there sufficient data.

Nonparametric methods were used because of uncertainty over the underlying distributions. The same approach, for the same reason, was used by Monsermann and Boff (1997).

Results

The median heritabilities of all traits except specific gravity were in the range 0.19–0.26 (Table 2); means were always slightly greater. Frequency distributions are represented in Fig. 1. For all traits except volume and specific gravity, at least 75% of the heritability values were less than 0.4 (Fig. 1). In the case of volume, 76% were less than 0.3. Almost all heritabilities for all traits except specific gravity were less than 0.5. Within the range 0–0.5, height, diameter,

TABLE 4. Values and significances of Wilcoxon signed-rank T for paired values of individual-tree narrow-sense heritability and additive genetic coefficient of variation (AGCV) for six traits

Trait or trait type	Parameter	Diameter	Volume	Straightness	Specific gravity	Branch angle
Height	Heritability	870.0* (h, 70)	280.5** (h, 51)	484.0ns (s, 46)	7.0ns (sg, 9)	20.0ns (h, 12)
	AGCV	319.5* (d, 46)	nr	24.5* (s, 16)	nep	25.5ns (b, 8)
Diameter	Heritability		637.0ns (v, 52)	481.5ns (s, 47)	0* (sg, 8)	13.0ns (d, 11)
	AGCV		nr	21.5** (s, 19)	1.0ns (d, 6)	11.0ns (d, 8)
Volume	Heritability			379.5ns (s, 40)	0* (sg, 7)	5.0ns (v, 6)
	AGCV			13.0* (v, 12)	nep	nep
Straightness	Heritability				nep	14.0ns (s, 9)
	AGCV				nep	1.0* (3, 7)
Specific gravity	Heritability					nep
	AGCV					nep

NOTE: *, significant at $p = 0.05$; **, significant at $p = 0.01$; ns, not significant at $p = 0.05$. First item in parentheses is the trait with higher values (d, diameter; v, volume; s, straightness; sg, specific gravity; h, branch angle; h, height); second item is the number of pairs in comparison. nr, test not run; nep, not enough pairs to run test.

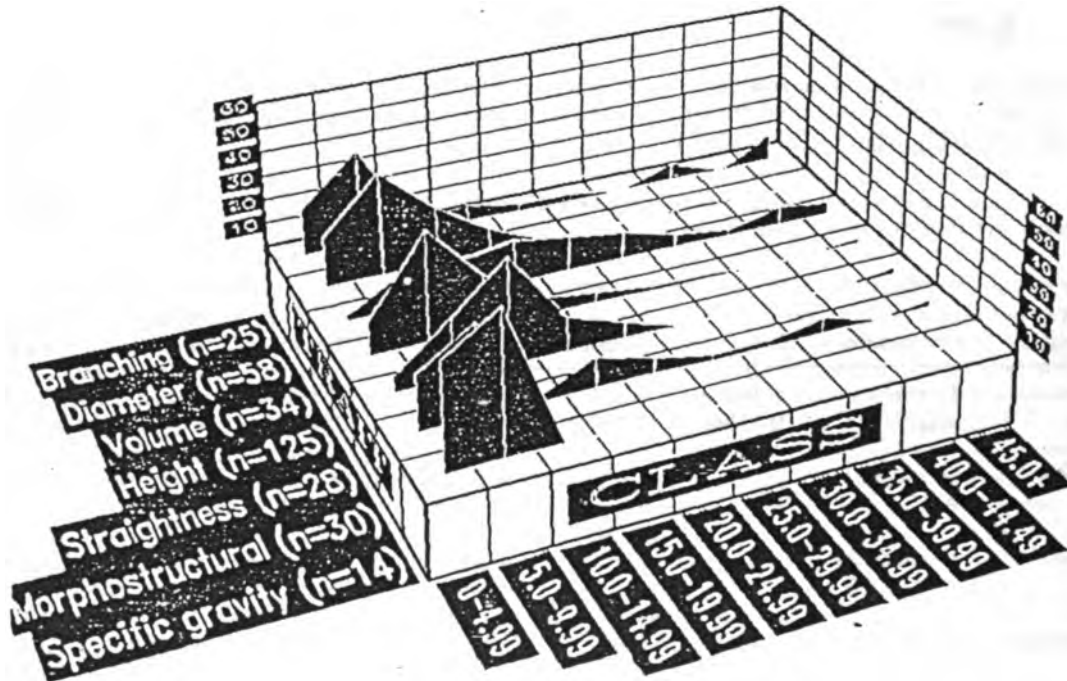


FIG. 2. Frequency distributions of additive genetic coefficient of variation percentage of seven traits in forest trees based on information in 67 published studies. See Fig. 1.

and volume show a rather stronger tendency to be concentrated in the lower part of this range than do the form (straightness and branching) or morphostructural traits, the latter having a somewhat flatter distribution. The median heritability of specific gravity was 0.48 (mean 0.5); 87% of values were in the range 0.3–1.0. Although there was some tendency towards bimodality in the specific gravity distribution, there is no obvious reason why heritabilities of 0.6–0.69 should be uncommon in this trait. Possibly a larger sample would produce more values in this range.

Values of D for comparisons of heritability between specific gravity and other traits were in all cases highly significant ($p = 0.01$) (Table 3). The only other significant D ($p = 0.05$) occurred at heritability of 0.24; between height and volume: 69 and 48% of the distributions of volume and

height, respectively, were less than or equal to 0.24. The value of the Wilcoxon signed-rank T for the same trait combination was highly significant ($p = 0.01$) (Table 4). The T -value between height and diameter was significant ($p = 0.05$), height having higher heritabilities, whereas T between diameter and volume and other combinations except those involving specific gravity were not significant ($p = 0.05$).

The median AGCVs of height, diameter, branching traits, and the group of morphostructural traits were similar (8.5, 8.6, 8.4, and 8.8%, respectively) (Table 2). The mean values of, particularly, the branching traits, the morphostructural traits, and straightness were much higher than the medians owing to the effect of low frequency extreme values. In all the characteristics, there was a clear tendency towards values below 15% (Fig. 2). However, 80 and 88% of the estimates

were below 15% for height and diameter, as against only 63 and 64% in the case of the various morphostructural traits and branching traits. These latter two sample groups also had longer tails than the other traits except volume. The median AGCV of straightness was 11.65%; there was a roughly symmetrical distribution centred around this value, with 82% of the values less than or equal to 17.6%. Volume generally had higher AGCV than the other traits, although the distribution suggests that no value between 5 and 45% should be considered unusual. The distribution of the AGCV values of specific gravity was quite different from the others; of the 14 values noted, all were less than 10%.

Values of D for comparisons of AGCV of specific gravity with AGCV of other traits were highly significant ($p = 0.01$) (Table 3), specific gravity tended to have lower values than the other traits. Similarly, at the other extreme, D for comparisons between volume and all other traits were all highly significant ($p = 0.01$), volume tending to have higher values than all other traits. Straightness showed significant ($p = 0.05$) (versus height) or highly significant ($p = 0.01$) (versus diameter) values of D , AGCV of straightness being the higher in both cases. The values of Wilcoxon T (Table 4) showed the same trends, although for some traits (principally specific gravity), the number of pairs was limiting. In addition, AGCV of diameter was significantly higher than that of height ($p = 0.05$). This finding is consistent with the medians of the two traits, although not with their means (Table 2).

Discussion and conclusions

Typical values of heritability and additive genetic coefficient of variation

For most traits, the results suggest that some reasonable generalizations can be made about levels of additive genetic variation and heritability. For all traits except specific gravity, heritability is usually less than 0.4, and most frequently is in the range 0.1–0.3. In the case of specific gravity, heritability is almost always above 0.3. There is also some evidence that height and straightness tend to have higher heritabilities than diameter and volume. The evidence does not provide clear support for the contention (see, for example, Zobel and Talbert 1984) that heritabilities of growth traits are generally lower than those of stem straightness. Rather, both growth traits and form traits tend to be weakly to moderately heritable.

The AGCV generally tends to be below 15% for all of the examined traits except volume. Specific gravity appears to have lower AGCVs than other traits. Volume shows the highest levels of additive genetic variation, followed by straightness. The remaining traits show AGCVs approximately intermediate to straightness and specific gravity. However, there is some evidence that very high values of AGCV are more common in the branching and morphostructural groups than in height and diameter.

As most studies (apart from those of specific gravity) are of progeny of trees that have been mass selected for the trait in question, estimates of genetic variances are underestimates of genetic variances of unselected populations. The degree of underestimation depends on the heritability itself and the intensity of selection (Falconer 1985, p. 203). When first generation selection intensities and heritabilities are high, expected responses to selection can be about 20% less in the second generation than in the first (Falconer

1989, p. 205). With the low levels of heritability for many of the traits examined here, the truncation effect of plus tree selection in plantations or natural stands on the estimated AGCVs and heritabilities would be negligible. In the case of heritability, while additive genetic variance among mass selected families in tests may be less than additive genetic variance of unselected natural populations, this should be offset by lower environmental variance in tests.

The results suggest that high narrow-sense heritabilities do not necessarily imply high additive genetic variation. For specific gravity, the trait with the highest heritability, has the lowest level of additive genetic variation, while volume which apparently tends to have low heritability, tends to have high levels of additive genetic variation.

The explanation for the general trends noted above may lie in differing correlations with fitness of the traits examined. Fisher's fundamental theorem of natural selection predicts less additive genetic variation and lower heritabilities in traits closely related to fitness (Falconer 1989; Mousseau and Roff 1987). Falconer (1989, p. 336) notes that "it is chiefly by natural selection that we must account for the fact that characters differ in their genetic properties, some having proportionately more additive variance than others, some showing inbreeding depression while others do not." However, the data presented here offer no possibility of testing such a hypothesis, while any attempt to trace the relationship to fitness of the traits examined would be of an essentially speculative nature, as there is little or no published empirical information on such relationships.

Probable levels of genetic gain and other implications for selection and breeding

Forest tree breeders have traditionally used mass selection, in the form of plus-tree selection in natural stands or unimproved plantations, as a first step in genetic improvement. The most usual form of the equation for genetic gain

$$[2] \Delta G = i\sigma_p h^2$$

where i is the standardized selection differential or selection intensity in standard deviation units, σ_p is the phenotypic standard deviation, and h^2 is the heritability.

As heritability is the ratio between the additive genetic variance (σ_A) and the phenotypic variance, the equation may also be written as

$$[3] \Delta G = i\sigma_A h$$

where h is the square root of heritability, or the correlation between breeding values and phenotypic values.

Based on this formulation, Table 5 presents genetic gain at various values of AGCV and h^2 for selection at $i = 3.0$, considered by Wright (1976) to be the maximum feasible in plus-tree selection. It is assumed that mating takes place only between plus-trees (i.e., in practice, that these are grafted into a clonal seed orchard). For height and diameter, expected genetic gains from plus-tree selection should typically be in the range of 6–16%, assuming AGCV of 10% and heritabilities of 0.05–0.3. For individual-tree volume genetic gains of up to 30% seem attainable. Gain in straightness, assuming AGCV of 12.5%, might typically be in the range of 8–20%. Gains in specific gravity at $i = 3.0$ would probably be in the range of 10–15%.

For all traits, it seems possible to achieve reasonable levels of genetic gain by screening quite low numbers of trees. For example, to achieve a selection intensity of 3.0, it would

TABLE 5. Genetic gain (percent) for various values of heritability and additive genetic coefficient of variation (AGCV) at a selection intensity of 3.0

AGCV	Heritability								
	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.80
5.0	3.4	4.7	5.8	6.7	7.5	8.2	9.5	10.6	13.4
10.0	6.7	9.5	11.6	13.4	15.0	16.4	19.0	21.2	26.8
12.5	8.4	11.9	14.5	16.8	18.7	20.5	23.7	26.5	33.5
15.0	10.0	14.2	17.4	20.1	22.5	24.6	28.4	31.8	40.3
20.0	13.4	19.0	23.2	26.8	30.0	32.8	37.9	42.4	53.7

be necessary to screen 295 trees for each tree selected. The concentration of selection efforts on a relatively small number of trees might also permit higher realized heritabilities. With AGCV of 10%, the normal probability function would predict five trees with breeding values at least 20% higher than the mean in a population of 1000 trees; the problem of the tree breeder is to find them.

Although the data analysed here do not support the idea that form traits are more highly heritable than growth traits, one would still expect greater genetic gain for straightness than for height or diameter because of higher additive genetic coefficient of variation for straightness (assuming constant selection intensity). However, gains in individual-tree volume should be at least as great as for straightness.

The following conclusions have been drawn from this paper:

- (1) Heritabilities of height, diameter, volume, branching traits, and straightness are generally below 0.4 and frequently in the range 0.1–0.3. Evidence that straightness and other form traits have higher heritabilities than growth traits is weak and, in any case, the differences do not appear to be of much practical importance.
- (2) Heritability of specific gravity tends to be higher than for other traits, being almost always greater than 0.3.
- (3) Values of the additive genetic coefficient of variation tend to be less than 15% for height and diameter. Straightness generally has higher AGCV. The AGCV of individual-tree volume is usually higher than other traits. AGCV of specific gravity tends to be around 5%. Branching traits and morphostructural traits had levels of additive genetic variation similar to those of height and diameter, although higher values appear slightly more common in the former two groups.
- (4) Comments on the amount of additive genetic variation of a population and the potential gains from selection can be in error if based solely on heritabilities, which only measure additive genetic variance relative to total variance.
- (5) In all traits, there is enough additive genetic variation present to permit considerable genetic gain from plus-tree selection even when only relatively small populations are screened.

Acknowledgements

The author thanks Mr. David Boshier (Oxford Forestry Institute, England), Mr. Eugenio Corea (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica), Mr. Francisco Mesén (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica), and Dr. Adrian Newton (Institute of Terrestrial Ecology, Scotland) for their comments on the final draft. The support of the British

Overseas Development Administration, the Norwegian Ministry of Foreign Affairs, and the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica, is gratefully acknowledged.

- Falconer, D.S. 1989. Introduction to quantitative genetics. 3rd ed. Longman Inc., Harlow, Essex, England.
- Mousseau, T.A., and Roff, D.A. 1987. Natural selection and the heritability of fitness components. *Heredity*, 59: 181–197.
- Snedecor, G.W., and Cochran, W.G. 1980. Statistical methods. 7th ed. Iowa State University Press, Ames.
- Squillace, A.E. 1974. Average genetic correlations among offspring from open-pollinated forest trees. *Silvae Genet.* 23: 149–156.
- Steel, R.G.D., and Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics. 2nd ed. McGraw-Hill, New York.
- Wright, J.W. 1976. Introduction to forest genetics. Academic Press, New York.
- Zobel, B.J., and Talbert, J. 1984. Applied forest tree improvement. John Wiley & Sons, New York.

Appendix: Source papers

- Alika, J.E. 1985. Heritability and gain from selection in rubber (*Hevea brasiliensis*). *Silvae Genet.* 34(1): 1–4.
- Bailey, J.K., Feret, P.P., and Bramlett, D.L. 1974. Crown character differences between well-pruned and poorly-pruned Virginia pine trees and their progeny. *Silvae Genet.* 23(6): 181–185.
- Barnes, R.D., and Schweppenhauser, M.A. 1978. *Pinus patula* Schiede & Deppe progeny tests in Rhodesia. Genetic control of nursery traits. *Silvae Genet.* 27: 200–204.
- Barnes, R.D., and Schweppenhauser, M.A. 1979. Genetic control of 1.5-year-old traits in *Pinus patula* Schiede et Deppe and a comparison of progeny test methods. *Silvae Genet.* 28(4): 156–167.
- Birot, Y., and Christophe, C. 1983. Genetic structures and expected genetic gains from multitrait selection in wild populations of Douglas-fir and Sitka spruce. I. Genetic variation between and within populations. *Silvae Genet.* 32(5–6): 141–151.
- Blada, I. 1989. Juvenile blister rust resistance and height growth of *Pinus strobus* × *P. peuce* F1 hybrids. *Silvae Genet.* 38(2): 45–49.
- Bongarten, B.C., and Hanover, J.W. 1966. Genetic parameters of blue spruce (*Picea pungens*) at two locations in Michigan. *Silvae Genet.* 35(2–3): 106–112.
- Bridgwater, F.E., Talbert, J.T., and Jahromi, S. 1983. Index selection for increased dry weight in a young loblolly pine plantation. *Silvae Genet.* 32(5–6): 157–161.
- Campbell, R.K. 1972. Genetic variability in juvenile height growth of Douglas-fir. *Silvae Genet.* 21(3–4): 126–129.
- Cotterill, P.P., and Dean, C.A. 1988. Changes in the genetic control of radiata pine to 16 years and efficiencies of early selection. *Silvae Genet.* 37(3–4): 138–146.
- Cotterill, P.P., and Zed, P.G. 1980. Estimates of genetic parameters for growth and form traits in four *Pinus radiata* D. Don progeny tests in South Australia. *Aust. For. Res.* 10: 155–167.

- Cotterill, P.P., Dean, C.A., and van Wyck, G. 1987. Additive and dominance genetic effects in *Pinus pinaster*, *P. radiata* and *P. elliotii* and some implications for breeding strategy. *Silvae Genet.* 36(5-6): 221-232.
- Crockford, K.J. 1990. Evaluation of tropical pine provenance and progeny tests. Final report. Oxford Forestry Institute, University of Oxford, Oxford.
- Dean, C.A., Cotterill, P.P., and Cameron, J.N. 1983. Genetic parameters and gains expected from multitrail selection of radiata pine in Eastern Victoria. *Aust. For. Res.* 13: 271-278.
- Dean, C.A., Cotterill, P.P., and Eisemann, R.L. 1986. Genetic parameters and gains expected from selection in *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in north Queensland, Australia. *Silvae Genet.* 35(5-6): 229-236.
- Dean, C.A., Nikles, D.G., and Harding, K.J. 1988. Estimates of genetic parameters and gains expected from selection in Hoop Pine in southeast Queensland. *Silvae Genet.* 37(5-6): 243-247.
- Farmer, R.E. 1970. Genetic variation among open-pollinated progeny of eastern cottonwood. *Silvae Genet.* 19(5-6): 149-151.
- Farmer, R.E., Jr., Barnett, P.E., Thor, E., and Rennie, J.C. 1983. Heritability estimates for height growth of Tennessee yellow-poplar. *Silvae Genet.* 32(1-2): 15-23.
- Ferguson, R.B., Land, S.B., and Cooper, D.T. 1977. Inheritance of growth and crown characteristics in American sycamore. *Silvae Genet.* 26(5-6): 180-182.
- Foster, G.S. 1986. Trends in genetic parameters with stand development and their influence on early selection for volume growth in loblolly pine. *For. Sci.* 32(4): 944-959.
- Foster, G.S., and Bridgewater, F.E. 1986. Genetic analysis of fifth-year data from a seventeen parent partial diallel of loblolly pine. *Silvae Genet.* 35(2-3): 118-122.
- Frampton, L.J., Jr., and Rockwood, D.L. 1983. Genetic variation in traits important for energy utilization of sand and slash pines. *Silvae Genet.* 32(1-2): 18-23.
- Gill, J.G.S. 1987. Juvenile-mature correlations and trends in genetic variances in Sitka spruce in Britain. *Silvae Genet.* 36(5-6): 189-194.
- Goggans, J.F. 1964. Correlation and heritability of certain wood properties in loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Tappi*, 47(6): 318-322.
- Griffin, A.R., and Cotterill, P.P. 1988. Genetic variation in growth of outcrossed, selfed and open-pollinated progenies of *Eucalyptus regnans* and some implications for breeding strategy. *Silvae Genet.* 37(3-4): 124-138.
- Holst, M.J., and Teich, A.H. 1969. Heritability estimates in Ontario white spruce. *Silvae Genet.* 18: 23-27.
- Kanowski, P.J., Ferguson, I.S., Wood, G.B., Nikles, D.G., and Matheson, A.C. 1985. Variation of stem and crown characteristics between selected families of hoop pine (*Araucaria cunninghamia* Ait. ex D. Don). *Aust. For. Res.* 15: 449-461.
- King, J.N., Yeh, F.C., and Heaman, J.C.H. 1988. Selection of growth and yield traits in controlled crosses of coastal Douglas-fir. *Silvae Genet.* 37(3-4): 158-164.
- Krusche, D., Das, B.L., and Stephan, B.R. 1980. Results of a progeny test with *Pinus sylvestris* and estimation of genetic gains from different selection methods. *Silvae Genet.* 29(3-4): 122-129.
- LaFarge, T. 1974. Genetic variation among and within three loblolly pine stands in Georgia. *For. Sci.* 20: 272-275.
- Ledig, F.T., and Whitmore, J.L. 1981. Heritability and genetic correlations for volume, foxtails, and other characteristics of Caribbean pine in Puerto Rico. *Silvae Genet.* 30(2-3): 88-92.
- Loo, J.A., Taucer, C.G., and McNew, R.W. 1985. Genetic variation in the time of transition from juvenile to mature wood in loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Silvae Genet.* 34(1): 14-19.
- Matziris, D.I. 1989. Variation in growth and branching characters in black pine (*Pinus nigra* Arnold) of Peloponnesus. *Silvae Genet.* 38(3-4): 77-81.
- Matziris, D.I., and Zobel, B.J. 1973. Inheritance and correlations of juvenile characteristics in loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Silvae Genet.* 22(1-2): 38-45.
- Mehbrahtu, T., and Hanover, J.W. 1989. Heritability and expected gain estimates for traits of black locust in Michigan. *Silvae Genet.* 38(3-4): 125-130.
- Morgenstern, E.K. 1969. Genetic variation in seedlings of *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. *Silvae Genet.* 18: 161-167.
- Morgenstern, E.K. 1974. A diallel cross in black spruce, *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. *Silvae Genet.* 23(2-3): 67-70.
- Nebgen, R.J., and Lowe, W.J. 1982. Inheritance of growth, branch angle and specific gravity in three American sycamore populations. *Silvae Genet.* 31(2-3): 86-89.
- Nepveu, P., and Velling, P. 1983. Variabilité génétique individuelle de qualité du bois chez *Betula pendula* Roth. *Silvae Genet.* 32(1-2): 37-49.
- Nicholls, J.W.P., Morris, J.D., and Pederick, L.A. 1980. Heritability estimates of density characteristics in juvenile *Pinus radiata* wood. *Silvae Genet.* 29(2): 54-61.
- Nienstaedt, H., and Riemenschneider, D.E. 1985. Changes in heritability estimates with age and site in white spruce, *Picea glauca* (Moench) Voss. *Silvae Genet.* 34(1): 34-41.
- Otegbeye, G.O., and Kellison, R.C. 1980. Genetics and bark characteristics of *Eucalyptus viminalis*. *Silvae Genet.* 29(1): 27-31.
- Park, Y.S., and Fowler, D.P. 1987. Genetic variances among clonally propagated populations of tamarack and the implications for tree improvement. *Can. J. For. Res.* 17: 1175-1180.
- Rehfeldt, G.E. 1983. Genetic variability within Douglas-fir populations: implications for tree improvement. *Silvae Genet.* 32(1-2): 9-14.
- Rehfeldt, G.E. 1985. Genetic variances and covariances in *Pinus contorta*: estimates of genetic gains from index selection. *Silvae Genet.* 34(1): 26-33.
- Rehfeldt, G.E. 1989. Genetic variances and covariances in freezing tolerance of lodgepole pine during early winter acclimation. *Silvae Genet.* 38(3-4): 133-137.
- Riemenschneider, D.E. 1988. Heritability, age-age correlations, and inferences regarding juvenile selection in jack pine. *For. Sci.* 34(4): 1076-1082.
- Rink, G., and Clausen, K.E. 1989. Site and age effects on genotypic control of juvenile *Juglans nigra* L. tree height. *Silvae Genet.* 38(1): 17-21.
- Rockwood, D.L., and Goddard, R.E. 1980. Genetic variation in Ocala sand pine and its implications. *Silvae Genet.* 29(1): 18-22.
- Samuel, C.J.A., and Johnstone, R.C.B. 1979. A study of population variation and inheritance in Sitka spruce. I. Results of glasshouse, nursery and early forest progeny tests. *Silvae Genet.* 28(1): 26-32.
- Schmidting, R.C. 1981. The inheritance of precocity and its relationship with growth in loblolly pines. *Silvae Genet.* 30(6): 188-192.
- Shelbourne, C.J.A., and Stonecypher, R.W. 1971. The inheritance of bole straightness in young loblolly pine. *Silvae Genet.* 20: 151-156.
- Sluder, E.R. 1986. Gains from first-cycle selection in slash and longleaf pines. *Silvae Genet.* 35(4): 155-159.
- Sluder, E.R. 1988. Inheritance and gain in a half-diallel cross among loblolly pines selected for resistance to fusiform rust. *Silvae Genet.* 27(1): 22-26.
- Squillace, A.E., Echols, R.M., and Dorman, K.W. 1962. Heritability of specific gravity and summerwood % and relation to other factors in slash pine. *Tappi*, 45(7): 599-601.
- Squillace, A.E., La Bastide, J.G.A., and van Vredenburg, C.L.H. 1975. Genetic variation and breeding of Scots pine in the Netherlands. *For. Sci.* 21(4): 341-352.
- Stonecypher, R.W., Zobel, B.J., and Blair, R. 1973. Inheritance patterns of loblolly pine from a nonselected natural population. North Carolina Agricultural Experiment Station, Durham, Tec. Bull. 220.
- Talbert, T.T., Jett, J.B., and Bryant, R.L. 1983. Inheritance of

- wood specific gravity in an unimproved loblolly pine population: 20 years of results. *Silvae Genet.* 32(1-2): 33-37.
- Tauer, C.G., and McNew, R.W. 1985. Inheritance and correlation of growth of shortleaf pine in two environments. *Silvae Genet.* 34(1): 5-11.
- Teissier du Cros, E., Kleinschmit, J., Azoeuf, P., and Hoslin, R. 1980. Spiral grain in beech, variation and heredity. *Silvae Genet.* 29(1): 5-13.
- van Buijtenen, J.P. 1962. Heritability estimates of wood density in loblolly pines. *Tappi*, 45(7): 602-605.
- van Wyck, G. 1976. Early growth results in a diallel progeny test of *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. 1. A field study. *Silvae Genet.* 25(3-4): 126-132.
- Wilcox, J.R. 1970. Inherent variation in South Mississippi sweet gum. *Silvae Genet.* 19: 91-94.

The effectiveness of plus-tree selection for yield

Jonathan Cornelius

*Centre for Research and Teaching in Tropical Agronomy (CATIE)/UK Overseas Development Administration, Turrialba,
Cartago, Costa Rica*

Accepted 26 January 1994

Abstract

In response to recent suggestions in the literature that plus-tree selection for yield in forest trees might in general be ineffective, the empirical information contained in 24 published reports was examined. It was found that progeny of plus-trees selected for yield traits tend to be faster growing than their controls. It is argued that this observed tendency is likely to be due at least in part to a response to selection. The reported values indicate that genetic gains of up to 15% in height and diameter growth, and up to 35% in volume per unit area, can readily be achieved through plus-tree selection. This is consistent with theoretical expectations. However, it should be emphasised that the amount of gain from any particular plus-tree selection system depends on the values of the parameters that determine the response to selection (selection intensity, genetic variance, heritability). In unfavourable situations, gain could be close to zero.

Keywords: Genetic gain; Competition; Phenotypic selection

1. Introduction

Tree breeders have long realised that the large amount of genetic variation present in the essentially wild tree species with which they work presents them with selection opportunities not shared by most crop and animal breeders (Lindquist, 1948). Many have attempted to take advantage of these opportunities by forming their breeding populations through the phenotypic selection of 'plus-trees' in wild populations and unimproved plantations or by cloning plus-trees for immediate commercial planting or screening in clonal tests. According to Zobel and Talbert (1984), plus-tree selection is 'by far the most common method of first-generation selection'.

In spite of the typically low heritabilities of growth traits, it has generally been presumed that

the high selection intensities possible in plus-tree selection would nevertheless permit worthwhile gains to be made. As a result, and because of the importance almost universally attached to yield, individual-tree height, stem diameter or volume is generally the highest priority trait in plus-tree selection (Zobel and Talbert, 1984). Methods of plus-tree selection are taught at forest technician, undergraduate and graduate level, and quite significant resources have been devoted to this activity over the last 40 years or so.

It should not be expected that phenotypic selection for yield will always be effective, as the response to selection depends not just on the selection intensity, but also on the genetic and environmental parameters of the population and trait in question. However, some authors (e.g. Longman and Jenik, 1987, p. 280) have recently

Table 1
Summary of the results of plus-tree selection for yield in forest trees as reported in 24 published studies, with classification for sign test

Author	Species, selection intensity ^a , whether selected in natural stands (N) or plantations (P), description of control	Trial age (years)	Trait	Realised genetic gain (%)	Sign test classification
<i>(1) Clones of plus-trees</i>					
Kageyama and Kikuti, 1989	<i>Eucalyptus grandis</i> p = 1:2000, P control: clones randomly selected in the same plantations	2.5	height dbh tree volume	+2.9 +5.0 +12.1	NA
Lambeth and Endo, 1991	<i>E. grandis</i> p = 1:1900, P control: three seedling lots	2	height dbh tree volume volume per unit area	+3.0 0 -3.5 +4.9	NA
Roulund, 1978	<i>Picea sitchensis</i> i = 3.64, P control: unselected seedling lot from provenance superior to that of the clones	6	height	+44.0	NA
<i>(2) Progeny, both parents 'plus'</i>					
Barnes et al., 1987	<i>Pinus patula</i> p = 1:51000, P control: open-pollinated progeny of unselected trees in plantations descended from the same introductions as the plantations where the plus-trees were selected	7.5	dbh	+11.6 ^b	+
Dyson, 1977	<i>Cupressus lusitanica</i> P control: open-pollinated progeny from previous seed sources (two seed stands)	5.25	volume per unit area	+17.95 ^c	NA

Author	Species	Control	Year	Measure	Change	Significance
Eldridge, 1982	<i>Pinus radiata</i>	control: seed of 200 trees randomly chosen in unthinned plantations representing plantations where plus-trees were selected	9-11	basal area volume per unit area	+17.7 ^d +15.7 ^d	+
Kurinobu and Shingai, 1987	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	control: "commercial checks from different seed sources"	5	height	+5.7	+
Nikles and Smith, 1970	<i>Pinus elliotii</i>	1 tree per 20 acres, P control: open-pollinated, selected at 1 per 0.006 acres in same plantations	14	height tree volume	+1.6 +18.8	+
Pedercic, 1981	<i>Pinus radiata</i>	control: "unimproved controls" from "these and other trials"	12-14	dbh	+8.2	+
(3) Progeny (one parent 'plus') Arbez and Millier, 1972	<i>Pinus nigra</i> , var. <i>laricio</i> , Calabrian sources	P ("artificial populations") control: progeny of trees from same populations	10	height dbh tree volume height dbh tree volume height dbh tree volume	+1.2 +2.6 +5.2 -2.3 -3.3 -5.4 +2.9 +0.1 +5.0 +8.9 +8.8 +35.9	+
Butcher, 1977	Corsican sources <i>Pinus pinaster</i>	P ("artificial populations") control: progeny of trees from same populations control: "routine plantation seed sources"	10	height volume per unit area	+15.0 +42.9	+

Table 1 (continued)

Author	Species, selection intensity ^a , whether selected in natural stands (N) or plantations (P), description of control	Trial age (years)	Trait	Realised genetic gain (%)	Sign test classification
Canavera, 1975	<i>Pinus banksiana</i> plus-trees at least 2σ above mean, N control: "minus" trees from the same stands	3	height	+0.4	+
Dyson and Raunio, 1977	<i>Cupressus lusitanica</i> P control: progeny raised from seed stand	6	height dbh height dbh height	-1.8 ^e +7.8 ^e -3.6 ^f +13.2 ^f 0	+
Farmer, 1970	<i>Populus deltoides</i> N control: progeny of trees randomly selected in same populations	1-2	height	0	0
Kageyama and Kikui, 1989	<i>E. grandis</i> P=1:2000, P control: open-pollinated progeny of trees randomly selected in the same plantations		dbh height dbh tree volume	0 +1.4 +1.2 +7.7	+
Knall, 1978	<i>Picea glauca</i> P=0.13, N control: progeny of trees within 1σ of the mean in same stands	2-3	height	+ve ^g	+
Krugman, 1963	<i>Pinus radiata</i> P control: progeny of "non-clite" trees selected in same plantations	10	height dbh	7.2 4.9	+
Ladrach, 1979; Ladiach and Gutiérrez, 1979	<i>C. lusitanica</i> P=1:82000, P control: seedlot from one of the sites where the plus-trees were selected	3	height tree volume	+13.0 +50.0	+
Nikles and Smith, 1970	<i>Pinus elliotii</i> selected at 1 tree per 20 acres, P control: selected at 1 tree per 0.006 acres in same plantations	15	height volume per unit area height	+1.2 +4.8 +10.9	already classified ^h +
Pitcher, 1982	<i>Prunus serotina</i> N control: open-pollinated progeny of "average" phenotypes from same stands	12	height	+10.9	+

Author	Species	Year	Number of trees	Measurements	Change	Significance
Rockwood and Goddard, 1980	<i>Pinus clausa</i> N		5	tree volume	+6.0	+
Sluder, 1975	control: seedlot collected in same region			height	+5.0	+
	<i>Pinus elliotii</i> p=0.5, P control: "seed being planted commercially at the time" (standard checklots from unselected trees)	14-18		dbh tree volume	+3.8 +13.0	
Sluder, 1986	<i>Pinus palustris</i> N control: standard checklots from unselected trees	22	height	+2.3		
			dbh	3.2		
			tree volume	+6.9		
			volume per unit area	+35.3		
			height	+4.5		
			dbh	-0.74		
			tree volume per unit	+3.6		
Yeatman, 1974	<i>Pinus banksiana</i> N control: phenotypically inferior trees from same stands	6	area	+2.3	+	
			height	-5.3		
			tree volume per unit	-5.7		
Ying and Morgenstern, 1979	<i>Picea glauca</i> N control: open-pollinated progeny of trees from same stands	22	area	+33.5		
			height	-0.4	-	

*Standardised selection differential (i) or proportion selected (p), as and when given by author.

^bMean gain in the two trials.

^cSuperiority over mean of the two seed stands.

^dMean gain in the three trials.

^eBefore thinning.

^fAfter thinning.

^gPlus-tree progeny slightly taller, more detailed data not included by author.

^hSame selections and controls as in control-pollinated study already listed - the inclusion of two separate positive classifications would introduce bias to the data set.

suggested that plus-tree selection for yield might in general be ineffective. Longman and Jenik's comments on plus-tree selection appear to be based largely on the work of Ford (1976), who raised the question: 'is it possible to select high-yielding individuals from a forest and expect to obtain high-yielding stands from their progenies?' He concluded: "the answer... is 'no'. The competition mechanism and the associated plant plasticity suggest that there is no reason why large trees selected from within a monoculture where there is inter-plant competition should be expected to be of 'large plant' genotype. Even if it were so, the pattern of polygenic inheritance is likely to make it difficult to obtain superior progeny. And should a population of 'large plant' types be obtained, then the spatial homeostasis which is the automatic outcome of growing plants close together over the normal forest rotation, makes it doubtful whether yield would be increased on a per unit area basis."

Should this be the case, then important changes would be necessary in tree improvement practice and education. In the present article, the effectiveness of plus-tree selection is examined through the consideration of a sample of the published empirical information.

2. Methods

There are basically two criteria by which the efficacy of plus-tree selection might be empirically determined. One is through examining parent–progeny (or ortet–ramet) correlations. Positive and significant correlations between parental phenotypes and progeny means in the population where selection is made would indicate that selection based on parental phenotype would produce genetic gain, the magnitude of which would depend on the selection intensity, the magnitude of the correlation and the amount of genetic variation present. The second method is through the comparison of the mean of the progeny of the selected trees and the mean of the progeny of the unselected population (including the selected trees, and usually represented by a control lot). The difference between these two

means estimates the realised genetic gain. As the realisation of genetic gain is the objective of plus-tree selection, this criterion was judged to be more useful than the first, and is the only one considered below.

A literature search was undertaken, principally of issues of *Forest Science* and *Silvae Genetica* from recent decades, supplemented by various International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) tree improvement conferences and some other sources. All the papers that had relevant information in terms of the aforementioned criterion are referred to below.

The papers consulted are considered to be a random sample of all the papers presenting similar data, and the information on plus-tree progeny performance relative to control performance was considered to represent a random sample of the corresponding bivariate population of such data, in which the paired variables \bar{X}_i and \bar{Y}_i are defined, respectively as the growth variable mean of progeny of plus-trees and the growth variable mean of progeny of the populations in which the plus-trees were selected or of control populations with similar mean genotypic values.

The following null hypothesis (H_0) was constructed: the probability of \bar{X}_i being greater or equal to \bar{Y}_i is 0.5.

Each data pair was classified either positive (plus-tree progeny superior) or negative (control superior). A one-tailed sign test (Conover, 1980) was then used to test the null hypothesis. The test statistic (T) is the number of positive pairs.

The probability of a given value of T for a given total number of bivariate data can be read from a table of the binomial distribution, such as that presented by Conover (1980).

The bivariate data have in common that, in each datum, plus-tree selection for some growth attribute (normally, one or more of tree height, diameter at breast height (dbh), or tree volume) was made on one member of each pair. The attribute was not the same in each pair. In each case, the positive or negative classification is intended to reflect the overall effect of selection. Sometimes, the various traits reported showed

opposite responses in the same experiment. In these cases, volume per unit area was used as the determining trait, i.e. if volume per unit area gain was positive, then the classification was positive irrespective of the values of the other variables. Similarly, a positive gain in tree volume was considered to outweigh any negative response in height or dbh. The latter were given the same weighting.

The expected difference between plus-tree progeny means and control means when plus-tree selection is ineffective is zero. However, when plus-tree selection is ineffective, only rarely would sample sizes be large enough to give a zero value. One would expect, rather, that the data would be close to zero, with an equal number of positive and negative differences. According to the procedure for the sign test, data with zero difference between the members of the pair are ignored. Failure to reject the null hypothesis would indicate that it is as common for controls to exceed plus-tree progeny as vice versa, and hence would support the contention that plus-tree selection is ineffective. Rejection of the null hypothesis would indicate that means of plus-tree progeny tend to exceed control means and, presuming that there are no other tenable explanations for this superiority, that plus-tree selection can be effective in producing genetic gain. It is worth stressing that this approach does not depend on individual differences (negative or positive) being significant.

In general, there can be some risk of bias in studies of this type, as researchers probably tend to place a greater priority on publishing the results of 'successful' rather than 'unsuccessful' experiments. However, in the present context, this risk is not considered to be serious because the estimation of realised genetic gain from the previous generation of phenotypic selection is essentially incidental to the main purpose of progeny tests, which is the estimation of the genotypic values of the parent trees or of genetic parameters of the reference population. The detection of, or failure to detect, genetic variation between the selected progeny included, rather than achievement or otherwise of genetic gain in a previous phenotypic selection, would normally be

considered as indicative of the degree of success of a progeny test.

3. Results

The characteristics and results of the studies found in the literature search are summarised in Table 1, which includes the classification of each bivariate datum for the sign test. The studies by Roulund (1978), Lambeth and Endo (1991) and Dyson (1977), although included in Table 1, were not used in forming the data set for the sign test. In view of the finding of Gemmel et al. (1991) that, at least in *Picea abies*, clones can be inherently superior to seedlings of similar genetic origin by an amount approximating the 44% superiority of selected *Picea sitchensis* clones over seedlings reported by Roulund, it seems possible that Roulund's results might be explained by some sort of C-effect rather than a response to selection. The data presented by Lambeth and Endo (1991) have been omitted because it might be considered that the seedling control used was too different from the clonal selected treatment to be fully valid in the present context. Dyson's data were disregarded because it seems likely that the realised gain was due to a provenance effect rather than plus-tree selection; the controls were of Tanzanian origin, whilst some of the plus-trees were selected in Kenya, where, apparently, the best East African seed sources of *Cupressus lusitanica* were located at that time.

All but one of the 20 pairs with non-zero classifications had positive classifications. Under the null hypothesis, the probability of 19 positive pairs out of a total of 20 pairs with non-zero classification is less than 0.0001, i.e. T , the number of positive pairs, is significant at the 0.01% level.

4. Discussion

It is clear from the results presented above that in progeny tests, the growth trait means of progeny of plus-trees selected for yield tend to be greater than those of their controls.

Neither maternal effects (given the relative

maturity of most of the trials) or C-effects (no clonal trials were included in the data set for the sign tests) adequately account for this phenomenon. Another possible environmental explanation, that the control lots might have received less meticulous treatment in the nursery, does not seem to be tenable in such a diverse set of experiments. As there does not seem to be any other likely environmental reason for the superiority of plus-tree progeny, there would seem to be little doubt that the observed tendency has a genetic explanation.

In some situations, cross-pollination in seed orchards can lead to a release from the neighbourhood inbreeding present in some natural stands. However, it is unlikely that this might account for the observed superiority of plus-tree progeny because in none of the reported studies were seed orchard progeny derived from plus-trees selected in natural stands. Although inbreeding depression may occur in plantations, most such cases will probably be in small-seeded, fecund species (e.g. *Eucalyptus grandis*) where large areas might be established using seed collected in stands derived from crosses between a few close relatives. There will be no release from inbreeding in progeny of two plus-trees from such areas, because on average these will be as closely related to each other as they are to the control, i.e. the plus-tree progeny will be as inbred as the control. The progeny of two plantation plus-trees will only be less inbred than the controls collected in the same plantation(s) if the two plus-trees come from different, inbred plantations. Whilst it cannot be ruled out that this may have occurred in one or more of the studies listed in Table 1, it does not appear to be a convincing explanation for the consistent superiority of plus-tree progeny, particularly as only six of the studies were based on two-parent plus-tree progeny.

Not all of the controls (or 'check lots') used are controls in the formal sense of being random selections from the populations in which plus-trees were selected (see Table 1 for details). Sometimes, tree breeders select as a control the seed source in current use as, for practical purposes, gain will be measured relative to that source. It could be argued, therefore, that plus-

tree progeny tend to grow faster than controls because controls tend to be both genetically unrepresentative and inferior to the unselected populations. However, this obviously cannot be applied to those studies which used a genetic control from the unselected population, whilst in any case there appears to be no biological or other reason why stands used for 'commercial checks' should tend to be inferior to the stands where plus-tree selections are made. In none of the studies did the authors suggest that this was the case.

Evidently, a response to selection would seem to be the most satisfactory explanation for the tendency for plus-tree progeny to be superior to their controls. However, if Ford's argument is valid, then some other explanation would have to be looked for. Therefore, it seems worthwhile to consider the three components of Ford's argument in some detail before drawing any conclusions.

The first part of the argument ('the competition mechanism and the associated plant plasticity suggest that there is no reason why large trees selected from within a monoculture where there is inter-plant competition should be expected to be of a 'large plant' genotype') is based on the effects of competition in even-aged monocultures. Ford observes that competition results in a larger proportion of the total stand growth being concentrated on the larger plants, and suggests that the most effective way to judge whether this outcome is due to genotypic differences is to examine the spatial distribution of large and small plants: "if competition is the outcome of selection between genotypes, then the distribution of successful plants would be expected to follow the initial distribution of 'large plant genotypes' and... we would expect this to be random" whilst: "alternatively, if competition occurs in response to the finite concentration of resources which exists at any point, then the spatial distribution of large plants can be expected to be even".

Ford then cites various studies which reveal an even spacing of large plants in 'a wide range of monocultures', from which he draws the conclusion mentioned earlier.

However, by definition, competition occurs when the immediate combined demands of two organisms for an environmental resource exceed the immediately available supply of that resource (Donald, 1963). That is to say, competition always 'occurs in response to the finite concentration of resources which exists at any point'. Normally, the successful plants will be those that, at the onset of competition, already have a phenotypic advantage (for example, a higher, broader crown): the alleles that each tree has and their interactions with each other and the environment to which each tree is subject combine to determine the outcome of its competition with other trees. In cases when broad-sense heritability at the onset of competition is high, competitive success will be determined predominantly by genotype, and, when heritability is low, competitive success will be determined principally by environmental advantage. However, this is immaterial to the outcome of competition, which depends on the interaction between phenotypes. In both cases, we would expect an even distribution of large trees. As long as heritability is greater than zero, we would expect 'genetically large trees' to be a randomly distributed subset of the set of evenly spaced trees. Lest this should be misunderstood, then it might also be added that, at last with low to moderate heritabilities, many 'genetically large trees' would also be found amongst the smaller phenotypes. Even spacing of large trees might tell us that competition has occurred, but it tells us nothing about the basis—principally genetic superiority or principally environmental advantage—of the competitive success of each large tree.

Judging from the typically low levels of heritabilities in growth-related traits in forest trees, Ford's comment that 'there is no reason why large trees selected from within a monoculture where there is inter-plant competition should be expected to be of a 'large plant' genotype' is, in a sense, correct. However, practitioners of plus-tree selection do not 'expect' each such selection to be genetically superior. A given selected group would be expected to contain trees large both for environmental reasons and genetic reasons. The point is that the group of selected trees would be

expected, on average, to have more 'genetically large trees' than a random sample. When initial phenotypic differences are primarily environmental in origin, competition may reduce the efficacy of plus-tree selection; but to suggest that would vitiate plus-tree selection would seem exaggerate the problem.

In the second component of his argument, Ford argues that, even if 'large plant genotypes' could be selected, polygenic inheritance would be an obstacle to using these to produce superior progeny. The phenomenon of polygenic inheritance as Ford states, is well known to all involved in breeding 'and is an essential component of the breeder's world'. However, it is unclear how polygenic inheritance 'makes it difficult' to obtain superior progeny. In the sense of the additive genotype, a 'large plant genotype' is by definition a plant that produces relatively large progeny. It is true that, if plants are of 'large plant genotype' due to dominance or epistatic deviations, then it may be more difficult to obtain progeny that are generally superior (vegetative propagation is one way to take advantage of this type of genetic superiority). But this is because of the problems of dominance rather than those of polygenic inheritance.

In the third component of his argument, Ford suggests that, even if 'genetically large' trees could be selected phenotypically, and their superiority transmitted to their progeny, gain would still not be achieved as trees of genetically superior growth rate will not produce higher unit area yield. Ford comments: "the essential problem of increasing yield per hectare can be related to the spatial homeostasis which is the outcome of competition. We must increase the growth of the individual plant, the positive feedback loop, but at the same time decrease the competition which limits growth of the individual, the negative feedback loop. The ideal plant is *not* [Ford's italics] a strong competitor."

This formulation of the 'ideal plant' appears to correspond to the 'crop ideotype', described by Dickman (1985) as 'the model most appropriate for the fibre or biomass plantation'. In such production systems, the principal measure of productivity is yield per hectare. Crop ideotypes, typically with narrow, dense crowns, are consid-

ered by some authors (e.g. Kärki and Tigerstedt, 1985) to be capable of achieving higher yield per hectare than other ideotypes. However, frequently, plus-tree progeny are deployed not in fibre or biomass plantations, but rather in timber plantations in which not only area yield is of interest, but also the mean diameter of the trees. Such plantations usually must be thinned after canopy closure in order to remove or reduce the effects of competition on the remaining trees. These then have sufficient access to finite resources (light, nutrients, water) to continue growing rapidly (Evans, 1982; Zobel et al., 1987) and thereby meet the objective of production as rapidly as possible. One aim of the forester is to ensure that each tree maximises its growth rate within the space provided. Providing that it is not so extreme as to be classed as a 'wolf', the ideal plant will be a good competitor because good competitors are usually fast-growing; its effect on its neighbours is of reduced importance because these will be removed in thinning. Thus the 'essential problem' is overcome by largely removing the negative feedback loop. A stand composed of fast-growing individuals will establish itself, close canopy, and reach rotation age earlier than a stand composed of slower growers. In some situations, the effect may be analogous to an upward shift in site index (e.g. Nance and Wells, 1981; Buford and Burkhart, 1985). In other cases, there may be differences in shape of height–age curves as well as their levels, as may occur also in the case of two different species.

It appears that, taken as a whole, Ford's argument cannot be satisfactorily applied to all plus-tree selection situations: in forestry plantations, 'large genotypes' will be more common in groups of plus-trees than in random samples, there are no insurmountable difficulties in capturing this superiority, whether it be of additive or non-additive origin, or whether it be based on polygenic control or major gene effects, and, in most forestry production systems, fast-growing individuals produce more productive stands. It would, therefore, seem reasonable to suggest that the superiority of plus-tree progeny over their controls in progeny tests is at least in part due to responses to selection.

The values listed in Table 1 indicate that genetic gains of up to 15% in height and diameter growth, and up to 35% in volume per unit area, can readily be achieved through plus-tree selection. There is little point in attempting to give an 'average expected gain', as the values of the parameters that determine the response to selection will vary according to variations both in genetic parameters and in selection and deployment strategies. For example, if low intensity plus-tree selection (e.g. 1 tree per 100) for dbh was implemented in a population with moderate additive genetic variation (e.g. additive genetic coefficient of variation of 8%) (Cornelius, 1994) and low heritability (e.g. 0.05) for this trait, the seed being collected directly from the plus-tree for operational planting, then the expected response to selection would be

$$R\% = i\sigma_A \%h \\ = [2.665 \times 0.5] \times 8\% \times 0.22 = 2.3\%$$

If a more intensive strategy (e.g. selection of the best tree in each thousand, grafting to a clonal seed orchard and commercial use of the seed before roguing) was implemented in a population with the same additive genetic coefficient of variation but with moderate heritability (e.g. 0.2) then the expected gain would be

$$R\% = 3.367 \times 8\% \times 0.45 = 12.1\%$$

If the same plus-trees were to be cloned for operational planting as cuttings, and non-additive genetic variance was of the same magnitude as additive genetic variance, then the expected response would be

$$R\% = 3.367 \times 11.3\% \times 0.63 = 24.0\%$$

The data presented in Table 1 suggest a tendency for plus-tree selection to be less effective in natural stands than in plantations. All the cases where the difference between plus-tree progeny and controls was close to zero correspond to selection in wild stands. However, in other cases (e.g. Yeatman, 1974; Rockwood and Goddard, 1980; Pitcher, 1982; Sluder, 1986 (*Pinus palustris*)), plus-tree selection in natural stands would seem to have been worthwhile. As the above gain

calculations illustrate, the factors determining gain are specific to each case.

Finally, it is worth making the observation that the data presented here suggest that a given percentage gain in height or diameter growth corresponds to a considerably larger percentage response in volume, whether on an individual-tree or area basis (see Table 1, results of Nikles and Smith, 1970; Arbez and Millier, 1972; Butcher, 1977; Ladrach, 1979; Ladrach and Gutiérrez, 1979; Sluder, 1986; Kageyama and Kikuti, 1989).

5. Conclusions

In forestry progeny tests, progeny of plus-trees selected for yield traits tend to grow faster than their controls. This outcome is in agreement with artificial selection theory, even when the effect of competition is taken into account, and is most satisfactorily explained as a response to selection.

The published data indicate that gains of up to 15% in height and diameter growth can be readily achieved through plus-tree selection, a finding that is consistent with theoretical considerations. However, plus-tree selection will not always be effective. The amount of gain achieved in each case will depend on the values of the parameters that determine the response to selection, i.e. the selection intensity, the heritability and the amount of genetic variance. Insofar as this is possible, tree breeders should consider the probable values of these before embarking upon plus-tree selection.

Acknowledgements

The author thanks E. Corea A. and Dr. A.C. Newton for their revisions of and invaluable comments on an earlier draft, and Dr. M.G.R. Cannell and Dr. R.R.B. Leakey for revising and constructively commenting on the final draft. The support of the UK Overseas Development Administration (ODA) and the Centre for Research and Training in Tropical Agronomy (CA-TIE) is gratefully acknowledged.

References

- Arbez, M. and Millier, C., 1972. Variabilité, hérédité et corrélations entre caractères chez de jeunes pins Laricio de Calabre (*Pinus nigra* Arn. ssp. laricio, var. calabrica). Consequences et problèmes des indices de sélection. In: Proceedings. Joint Symposia for Forest Tree Breeding of Genetics Subject Group, International Union of Forest Research Organizations and Section 5, Forest Trees, Society for the Advancement of Breeding Researches in Asia and Oceania, Government Forest Experiment Station of Japan, Tokyo, pp. A-10(V), 1–32.
- Barnes, R.D., Matheson, A.C., Mullin, L.J. and Birks, J., 1987. Dominance in a metric trait of *Pinus patula* Schiede and Deppe. *For. Sci.*, 33(3): 809–815.
- Buford, M.A. and Burkhart, H.E., 1985. Dynamics of improved loblolly pine plantations and the implications for modeling growth of improved stands. 18th South. For. Tree Imp. Conf., Long Beach, MS, pp. 170–177.
- Butcher, T.B., 1977. Gains from the *Pinus pinaster* Ait. improvement programme in Western Australia. In: Proceedings, Third World Consultation on Forest Tree Breeding, Canberra, Australia, 21–26 March 1977. CSIRO, Canberra, pp. 659–665 [FO-FTB-77-3/16].
- Canavera, D.S., 1975. Variation among the offspring of selected lower Michigan Jack pines. *Silv. Genet.*, 24(1): 12–15.
- Conover, W.J., 1980. Practical Nonparametric Statistics, 2nd edn. Wiley, New York, 493 p.
- Cornelius, J.P., 1994. Heritabilities and additive genetic coefficients of variation in forest trees. *Can. J. For. Res.*, 24: 372–379.
- Dickman, D.I., 1985. The ideotype concept applied to trees. In: M.G.R. Cannell and J.E. Jackson (Editors), Attributes of Trees as Crop Plants. Institute of Terrestrial Ecology, Penicuik, UK, pp. 89–101.
- Donald, C.M., 1963. Competition among crop and pasture plants. *Adv. Agron.*, 15:1–118.
- Dyson, W.G., 1977. Some realized gains from cooperative tree improvement in East Africa. In: Proceedings, Third World Consultation on Forest Tree Breeding, Canberra Australia, 21–26 March 1977. CSIRO, Canberra, pp. 621–628 [FO-FTB-77-3/11].
- Dyson, W.G. and Raunio, A.-L., 1977. Revised heritability estimates for *Cupressus lusitanica* in East Africa. *Silv. Genet.*, 26(5–6): 193–196.
- Eldridge, K.G., 1982. Genetic improvements from a radiata pine seed orchard. *N.Z. J. For. Sci.*, 12(2): 404–411.
- Evans, J., 1982. Plantation Forestry in the Tropics. Oxford University Press, Oxford, UK, 472 pp.
- Farmer, R.E., 1970. Genetic variation among open-pollinated progeny of eastern cottonwood. *Silv. Genet.*, 19:149–151.
- Ford, E.D., 1976. Competition, genetic systems and improvement of forest tree yield. In: M.G.R. Cannell and F.T. Last (Editors), Tree Physiology and Yield Improvement. Academic Press, London, pp. 463–472.

- Gammel, P., Orlander, G. and Högberg, K.A., 1991. Norway spruce cuttings perform better than seedlings of the same genetic origin. *Silv. Genet.*, 40(5–6): 198–202.
- Kageyama, P.Y. and Kikuti, P., 1989. Comparison between clones and open-pollinated progenies originating from a population of *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden in Brazil. In: G.L. Gibson, A.R. Griffin and A.C. Matheson (Editors), *Breeding Tropical Trees: Population Structure and Tree Improvement Strategies in Clonal and Seedling Forestry*. Proceedings, IUFRO Conference, Pattaya, Thailand, November 1988. Oxford Forestry Institute, Oxford, UK and Winrock International, Arlington, VA, USA.
- Kärki, L. and Tigerstedt, P.M.A., 1985. Definition and exploitation of forest tree ideotypes in Finland. In: M.G.R. Cannell and J.E. Jackson (Editors), *Attributes of Trees as Crop Plants*. Institute of Terrestrial Ecology, Penicuik, UK, pp. 102–109.
- Khalil, M.A.K., 1978. Early growth of some progenies from two phenotypically superior white spruce provenances in Central Newfoundland. *Silv. Genet.*, 27(5): 193–196.
- Krugman, S.L., 1963. Ten-year performance of a California planting of progenies of 'elite' and 'non-elite' *Pinus radiata* from Australia. Res. Note PSW-32, USDA, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Berkeley, CA, 2 pp.
- Kurinobu, S. and Shingai, Y., 1987. Stand-volume prediction of improved trees based on realized genetic gain in progeny tests of HINOKI (*Chamaecyparis obtusa* Endl.). *Silv. Genet.*, 36(3–4): 159–164.
- Ladrach, W.E., 1979. Results of two open-pollinated progeny tests of *Cupressus lusitanica* established in 1975 and 1977. Res. Rep. No. 49, Carton de Colombia, S.A., Cali, Colombia.
- Ladrach, W.E. and Gutiérrez, V.M., 1979. Genetic gains with *Cupressus lusitanica* through six years of tree improvement in Colombia. Res. Rep. No. 50, Carton de Colombia, S.A., Cali, Colombia.
- Lambeth, C.C. and Endo, M., 1991. Crecimientos y calidad de 460 clones de *Eucalyptus grandis* y ganancias sobre lotes semilleros comerciales. Inf. Invest. No. 129, Smurfit Carton de Colombia.
- Lindquist, B., 1948. Genetics in Swedish Forestry Practice. Svenska Skogsvårdsföreningens, Stockholm, 173 pp.
- Longman, K.A. and Jenik, J., 1987. *Tropical Forest and its Environment*. 2nd edn. Longman Scientific and Technical, Harlow, UK, vi + 347 pp.
- Nance, W.L. and Wells, O.O., 1981. Estimating volume potential in genetic tests using growth and yield models. In: *Proceedings, 16th South. For. Tree Imp. Conf.*, Blackburg, VA, pp. 39–46.
- Nikles, D.G. and Smith, W.J., 1970. Increased volume and dry weight yield and improved stem straightness obtained through selection within a population of *Pinus elliottii* Engelm. In: *Proc. Second World Consultation on Forest Tree Breeding*, Washington, DC, 7–16 August 1969. FAO, Rome, pp. 255–267 [FO-FTB-69-2/20].
- Pederick, L.A., 1981. Family-site interactions in *Pinus radiata* in Victoria, Australia, and implications for breeding strategy. *Silv. Genet.*, 39(3–4): 134–140.
- Pitcher, J.A., 1982. Phenotype selection and half-sib performance in Black Cherry. *For. Sci.*, 28(2): 251–256.
- Rockwood, D.L. and Goddard, R.E., 1980. Genetic variation in Ocala sand pine and its implications. *Silv. Genet.*, 29(1): 18–22.
- Roulund, H., 1978. A comparison of seedlings and clonal cuttings of Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.). *Silv. Genet.*, 27(3–4): 104–108.
- Sluder, E.R., 1975. Gains in volume growth and rust resistance to age 10 in progeny of trees of selected slash pines. *Silv. Genet.*, 24(1): 6–9.
- Sluder, E.R., 1986. Gains from first cycle selection in slash and longleaf pines. *Silv. Genet.*, 35(4): 155–159.
- Yeatman, C.W., 1974. A progeny test of Ottawa Valley jack pine—6 year results. In: *Proc. Ninth Central States Forest Tree improvement Conf.*, 10–11 October 1974, Ames, IA. Central States Forest Tree Improvement Conference, Wooster, OH, pp. 71–84.
- Ying, C.C. and Morgenstern, E.K., 1979. Correlations of height growth and heritabilities at different ages in white spruce. *Silv. Genet.*, 28(5–6): 181–185.
- Zobel, B.J. and Talbert, J., 1984. *Applied Forest Tree improvement*. John Wiley, New York, 505 pp.
- Zobel, B.J., van Wyck, G. and Stahl, P., 1987. *Growing Exotic Forests*. John Wiley, New York, xx + 508 pp.

A financial analysis of a small scale *Gmelina arborea* Roxb. improvement programme in Costa Rica

C. HAMILTON^{1,2}, L. CHANDLER^{1,2}, A. BRODIE^{1,2} AND J.P. CORNELIUS^{1,3}

¹Tree Improvement Project, Tropical Agronomic Research and Higher Education Centre (CATIE), Turrialba 7170, Costa Rica

²Oxford Forestry Institute, South Parks Road, Oxford, England

³Overseas Development Administration, 94 Victoria Street, London, England

Corresponding author: J.P. Cornelius, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Fax: 506 556 1533.

Email: jcorneli@computo.catie.ac.cr

A financial analysis of a small scale *Gmelina arborea* Roxb. improvement programme in Costa Rica

Application. Tree improvement activities for and by smallholder farmers, particularly in Central America, have largely been limited to low-intensity activities such as seed stand establishment. The main reason for this appears to have been the common view that higher-level tree improvement is not economically justifiable for relatively small-scale planting programmes. We describe a financial analysis which suggests that seed orchard programmes are often economically justifiable at annual planting rates of 125 ha or less. On this basis, we recommend that tree improvement above the seed stand intensity be more widely adopted in support of smallholder tree planting. The main application of the study would therefore be to justify such policies and, thereby, to improve the quality and productivity of smallholder plantations.

A financial analysis of a small scale *Gmelina arborea* Roxb. improvement programme in Costa Rica

Key-words: Central America, smallholder forestry

Abstract. A financial analysis of a small-scale *Gmelina arborea* improvement programme in Hojancha, Guanacaste Province, Costa Rica is described. The programme consisted of a clonal seed orchard, made up of ramets of plus-trees, and three progeny tests / seedling seed orchards. A 5% discount rate was used. The total discounted / compounded cost of the programme was US\$25423. The analysis demonstrated that this outlay would be justified at annual planting rates of from 31ha / year (at 20% genetic gain) to 125ha / year (at 5% genetic gain) over the 20-year life of the orchard. It was concluded that the implementation of such small-scale, locally-based programmes by community-based or locally-orientated organizations may often be justifiable.

Abstracto. Se reportan los resultados de un análisis financiero de un programa de escala pequeña de mejoramiento genético de *Gmelina arborea* en Hojancha, provincia de Guanacaste, Costa Rica. El programa consistió en un huerto semillero clonal, comprendido por ramets de árboles "plus", y tres ensayos de progenies / huertos semilleros de plántulas. Se empleó una tasa de descuento de 5%. El costo total descontado / compuesto del programa fue de US\$25423. El análisis demostró que tal inversión sería rentable con tasas anuales de plantación de 31ha / año (si se logran ganancias genéticas de 20%) a 125ha / año (si se logran ganancias genéticas de 5%) durante la vida útil del huerto (20 años). Se concluyó que la implementación de tales programas por organizaciones comunitarias frecuentemente puede ser justificada en términos financieros.

Introduction

In recent years there has been increasing interest in strategies for smallholder tree improvement (Barnes, Simons and MacQueen, 1992; Burley, 1980; Chuntanaparb and MacDicken, 1991; MacDicken and Bhumibhamon, 1990; MacDicken and Mehl, 1990; Mesén, Boshier and Cornelius, 1994; Raintree and Taylor, 1992; Simons, 1992; Simons, MacQueen and Stewart, 1994; Sinclair, Verinumbe and Hall, 1994; Venkatesh, 1988). Small-scale, locally-based approaches to tree improvement by or for smallholders would appear to have advantages over large-scale, centralized programmes, e.g. it is easier to take into account local differences in species preferences, environment and ideotypes; farmers can be involved or take charge of the process more easily; overall genetic diversity may be enhanced; costs are likely to be lower because of short distances from base to field sites. At least in Costa Rica, various community-based or community-orientated organizations are interested in, or already implementing, such programmes (Hagggar, 1995; Hamilton and Baeza, 1995). Many studies demonstrate that industrial tree improvement tends to be profitable (e.g. Willan, 1988; Zobel and Talbert, 1984). However, such studies have not been reported for small-scale, locally-based programmes in support of small to modest planting programmes. The present article seeks to fill this gap, taking as an example a *Gmelina arborea* improvement programme for the Hojancha Canton Agricultural Centre (CACH), in Guanacaste Province, Costa Rica. The Costa Rican Cantonal Agricultural Centres are cooperative-like organizations, originally established by the government, but now practically autonomous and self-financing. A part of their income is derived from affiliation fees paid by farmers.

The context: forestry and tree improvement in Hojancha

The canton of Hojancha is located in the seasonally dry, Pacific northwest of Costa Rica. The canton's 230 km² are dedicated almost entirely to agriculture. Since the late 1970s, this activity, which historically consisted of cattle farming and, to a lesser extent, production of basic grains (Campos, Rodríguez and Ugalde, 1992) has been increasingly supplemented by plantation forestry. By 1995, more than 1700ha of plantations, around 50% of them of gmelina (José Miguel Valverde, CACH, pers. comm.), had been established, mostly as 2-3 ha blocks on small- and medium-sized holdings. Initially, farmers' interest in tree planting appears to have been largely a result of declining productivity and profitability of traditional activities, promotion of forestry activities by agencies such as CATIE and, particularly, CACH, and government reforestation incentives. More recently, however, farmers increasingly appear to be accepting tree planting as a 'mainstream' productive activity, undertaken in expectation of income from the final product rather than from government incentives. The installation by CACH of a small-diameter sawmill, which is now working at full capacity (José Miguel Valverde, CACH, pers. comm.), and provides a ready local market, is presumably partially responsible for this trend.

In the mid-1980s, CACH and CATIE initiated tree improvement activities in Hojancha. Currently, the programme concentrates on gmelina, and consists of three main components: seed stands, two progeny tests of plus-tree material, one of which is under conversion to a seedling seed orchard, and a pilot programme of vegetative propagation and clonal testing. Selected germplasm (at present available only from seed stands) will be supplied by CACH to smallholder farmers through the existing seed and plant distribution system. At the request of CACH, a long-term breeding strategy is being prepared by CATIE's Tree Improvement Project.

Methods

General approach

The aim of the study was not to financially analyze the activities carried out to date by CACH, but rather to use CACH as a model in the formulation of a simple programme of activities whose analysis would permit some conclusions of general application to be drawn. For this reason, the programme analyzed is based on the traditional configuration of clonal seed orchard plus progeny tests / seedling seed orchards. Some, but not all, of this programme has already been implemented by CACH/CATIE. The rest may be implemented by CACH as part of the long-term strategy currently being drawn up. After defining what activities the programme would consist of and when they would be carried out, costs were estimated, mostly from actual cost data collected over many years by the CATIE Tree Improvement Project. Gross returns were then estimated for various genetic gain scenarios. Both costs and returns were discounted or compounded to the base year using standard formulae. Following this, the break-even annual planting area was calculated, i.e. the annual area of improved plantations that must be planted in each year of orchard life in order to produce enough gain to justify the costs of the programme (i.e. to give internal rates of return equal to the discount rate or net present value of zero). A real interest rate of 5 per cent was used throughout. As real interest rates from alternative long-term investments are unlikely to move above 1-2% (von Platen, 1995), this is considered to be a conservative assumption. The year of trial establishment was taken as the base year for compounding and discounting purposes. All calculations were made using a spreadsheet file, copies of which are available from the senior author.

Description Of The Programme: The Base Scenario

The programme begins with the selection, on stem straightness and growth criteria, of 70 plus-trees within local gmelina plantations. The following year, 3 progeny trials, each with the same 50 families, are established. The remaining 20 families are assumed to be unavailable for planting because of seed collection or germination problems. Each trial has 15 randomized complete blocks, three trees per plot, 3mx3m spacing, and a two-tree border around the entire trial. The trials are maintained according to local practice, and measured in year three before thinning. At year three, a consultant is employed to analyze the trial data. On the basis of the analysis, the best families are identified and ramets collected from the plus trees for the establishment of a clonal seed orchard, while the progeny trials are converted to seed orchards through a single heavy thinning. Seed production is assumed to start in year 7 in both seedling and clonal seed orchards. The first improved plantations are established in year 8, and harvested in year 18 . The orchards are assumed to have a productive life of 20 years. With the exception of the consultant contracted to analyze the trial data, the programme is implemented wholly by CACH, through a team consisting of the CACH Head Forester, a field assistant, and casual labourers.

Costs of the programme

All activities that, in the absence of a tree improvement programme, would be unnecessary to secure (unimproved) seed supplies were costed (table 1). An overhead of 15% was allowed to cover administrative costs and maintenance / depreciation of infrastructure. Total present value costs of the programme were estimated at US\$25423 (table 1).

Returns from the programme

The forecasting of yield increases due to genetic improvement is perhaps the most problematic element in the financial analysis of tree improvement (Cornelius and Morgenstern, 1986; Fins and Moore, 1984; Friedman, 1992; Ledig and Porterfield, 1982). In the CACH programme, as in most other programmes that have been analyzed, data on realized genetic gain are not yet available. In addition, there is little reliable data on which to base estimates of current productivity, and in any case such historical data would be of dubious relevance as, due to inexperience, many plantations have been established on unsuitable sites and have received poor management, particularly as regards thinning. Rather than attempt to forecast gain, it was decided to make calculations for genetic gains from 5-20%, applied to a plantation programme with the following mean characteristics: rotation length 10 years, with MAI of 20m³/ha/year and half of the total cumulative volume removed in thinnings. It is considered that these assumed parameters are justified; there is little doubt that, due to accumulated experience, future plantation management and site selection will improve substantially with respect to past practice. Timber prices were based on current gmelina prices of around \$15 / m³ delivered to mill (José Miguel Valverde, CACH, pers comm.), halved to allow for costs of harvesting and transport. All thinnings are assumed to be non-commercial. On these assumptions, improved stock with 20% and 5% gain produce gross discounted revenues (i.e. discounted to the beginning of the 10 year rotation) of US\$553/ha and US\$483/ha respectively, whilst the unimproved stock yields US\$460/ha i.e. marginal gross discounted revenue varies from US\$23/ha to US\$93/ha. These increases accrue as a series of 20 returns, beginning 10 years after establishment of the first improved plantations, and ending 10 years after the abandonment of the orchards in year 27.

Break-even financial analysis

The annual planting programme necessary to cover programme costs was calculated using the following formulae:

$$A = PVC / GDR \quad (1)$$

where:

A = required annual planting programme (ha)

PVC = total present value of costs of the programme (\$US)

GDR = the present value (\$US/ha) of the series of 20 marginal discounted returns.

GDR was calculated as:

$$GDR = \sum MDR_i / 1.05^t \quad (2)$$

where:

MDR_i = marginal revenue per ha due to tree improvement accrued in plantations established in year t, discounted to year t;

t = year of planting (relative to programme base year) of the plantations derived from each of the 20 annual seed harvests.

The analysis method assumes that improved growth rate will be used to produce more timber over the same rotation, rather than to reduce rotation length. It is also assumed that there will be no real changes in costs or stumpage values over time.

A sensitivity analysis was carried out by examining the effects of the following modifications: assumption of higher (25m³/ha/year) and lower (15m³/ha/year) site index; planting of just one trial, on the assumption that other trials exist in the region that have been paid for by other organizations; variations in timber price ($\pm 25\%$); a 4-year delay in the onset of seed production; variations in the productive periods (10 and 25 years) of the orchards.

Results and discussion

The break-even annual planting programme required under the base scenario is from 31ha (at 20% improvement) to 125ha (at 5% improvement) (table 4). Evidently, an effective (i.e. one capable of achieving genetic gains of at least around 10%) gmelina improvement programme in Hojañcha of the type analyzed would be amply justified by the current planting programme of around 100 ha. Of the factors considered in the sensitivity analysis, at least acting in isolation, only the reduction in orchard life to 10 years might alter this conclusion. It is, in any case, probable that programme returns have been underestimated: neither returns from decreased cleaning costs (due to faster early growth), the incorporation of first generation gains in the genotype of future germplasm production populations or possible income from second (commercial) thinnings have been considered. It is also worth stressing that the apparently high cost of the programme is made up in large measure of the cost of using existing personnel and infrastructure (i.e. existing, not additional, budget) for this specific purpose. This is important because an additional cost of more than \$25,000 would be beyond the resources of most community organizations.

The results have important implications for smallholder tree improvement in Costa Rica and elsewhere. Data held on the CATIE Tree Improvement Project Users' Network database indicates that in Costa Rica, farmers' organizations involved in tree planting are establishing 60-350 ha per year. Although these figures are combined data for several species, usually one or two species predominate. In any case, assuming moderate to high levels of heritability and additive genetic variation, as found in on-farm progeny tests to date in Costa Rica (Cornelius, Corea and Mesén, 1995; Cornelius and Hernández, 1995; Cornelius and Masis, 1994), genetic gains of 20% or higher should be feasible (Cornelius, 1993). Under such conditions, small-scale programmes of the sort described here would be justifiable even for minor species, providing that the costs incurred are likely to be

broadly similar to the case described here. In cases where programme costs can be shared between various organizations, each of which would establish one trial, the situation would be still more favourable (table 4).

Broadly speaking, the findings of the present study are likely to be applicable to other countries. Indeed, given the relatively high labour costs in Costa Rica, in other developing countries small-scale tree improvement may constitute an even more attractive way of improving yield and quality of smallholder forestry plantations. To date, tree improvement for smallholders in Central America has been characterized by the establishment of seed stands as 'interim' seed sources. Due, in part, to a general perception that higher level activities are only justifiable when annual planting rates are in the thousands of hectares, rather than tens or hundreds, there has been a reluctance to enter into higher-level activities, even of the simple sort reported here. The results of the present study suggest that this reluctance is unjustified. At the same time, however, it should be emphasized that the present analysis establishes only the financial feasibility of programmes of this type. Their wider feasibility will depend on, among other factors, the degree of commitment, training and awareness of local personnel, and the presence of organizations able to fulfil the catalytic and supporting functions carried out by CATIE in the case of Hojancha.

Conclusions

The results of the study indicate that small-scale, locally-based tree improvement programmes of the type described here are financially justified for annual planting programmes of the scale being undertaken by many farmers' organizations and other community-based groups in Costa Rica. Providing that programmes can be designed and implemented so as to allow gains of around 20%, these should be justifiable even for planting programmes as low as 31 ha per year. However, even tree improvement programmes producing gains in the order of 5% are readily justifiable for modest (around

125(a) annual planting programmes of even medium-value species. We therefore recommend that tree improvement activities beyond the seed stand level be implemented as a routine element of such planting programmes.

Acknowledgments

The contributions of past and present staff of the CATIE Tree Improvement Project and of the Hojancha Canton Agricultural Centre are gratefully acknowledged. The present study was supported financially by the British Overseas Development Administration (ODA) through its Technical Cooperation and Forestry Research Programme (FRP R5399), and by the Norwegian Ministry of Foreign Affairs. The authors are grateful to Dr. Henning von Platen (CATIE/GTZ) for suggesting the approach taken to the break-even analysis. We also thank Dr. David Boshier (University of Oxford), Dr. Francisco Mesén (CATIE) and Mr. José Miguel Valverde (CACH) for their constructive comments on the final draft.

References

- Barnes, R.D., Simons, A.J. and D.J. MacQueen. 1992. Domestication of tree species for non-industrial use. Pp 372-384 in IUFRO (1992), 'Resolving tropical forest resource concerns through tree improvement, gene conservation and domestication of new species', Conference proceedings, IUFRO working group S2.02.08, Cali and Cartagena, Colombia, October 8-9, 1992. CAMCORE / Smurfit Cartón de Colombia / Smurfit Cartón de Venezuela / Pizano S.A., 468 pp.
- Burley, J. 1980. Choice of tree species and possibility of genetic improvement for smallholder and community forests. *Commonw. For. Review* 59 (3): 311-326.

- Campos, O., Rodríguez, E. and Ugalde, L., 1993. Desarrollo Agropecuario Sostenible en la Región de Hojancha, Costa Rica. Informe Técnico N°195. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Chuntanaparb, L. and MacDicken, K.G. 1991. Tree selection and improvement for agroforestry. Pp 41-57 in Avery, M.E., Cannell, M.G.R., Ong, C.K. (eds.), 1991, Biophysical research for Asian agroforestry. New Delhi, Winrock International, 292 p.
- Cornelius, J.P. 1993. Sistemas de mejoramiento genético forestal utilizados en América Central: ¿Cuánta ganancia genética podemos esperar? Pp 32-49 in Proceedings, II Central American Convention on Forest Seed, Siguatepeque, Honduras, 1-7 March, 1992.
- Cornelius, J.P.; Corea, E.A. and Mesén, J.F. 1995. Genetic variation in height growth and leaf colour of *Eucalyptus deglupta* Blume at ages up to 16 months in Costa Rica. For. Ecol. Manage. In press.
- Cornelius, J.P.; Hernández, M. 1995. Variación genética en crecimiento y rectitud del fuste en *Gmelina arborea* en Costa Rica. Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales No. 10, 9-13.
- Cornelius, J.P. and Masis, J.A. 1994. Avances en el mejoramiento genético de *Vochysia guatemalensis*. Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales No. 9, 11-15.
- Cornelius, J.P. and Morgenstern, E.K., 1986. An economic analysis of black spruce breeding in New Brunswick. Can.J. For. Res. 16:476-483.
- Fins, L. and Moore, J.A., 1984. Economic analysis of a tree improvement program for Western Larch. J.of For. 82:675679.
- Friedman, S.T., 1992. Quantitative approaches to decisionmaking in forest genetics programs. In Fins, L., Friedman, S.T. and Brotschol, J.V. (Eds) Handbook of Quantitative Forest Genetics. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 403pp.

- Haggar, J., 1995. Research and development for native-tree forestry in Costa Rica: the contribution from the OTS Forestry Trials projects. Organization for Tropical Studies, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica.
- Hamilton, C. and Baeza, O. 1995. Características de la red de distribución de semillas en Costa Rica. Internal report, CATIE Tree Improvement Project, Turrialba, Costa Rica.
- Hughell, D., 1991. Modelo preliminar para la predicción del rendimiento de *Gmelina arborea* Roxb. en América Central. Silvoenergía 44. Madeleña, CATIÉ, Turrialba, Costa Rica.
- Ledig, T.F. and Porterfield, R.L., 1982. Tree improvement in Western Conifers: Economic aspects. *J of For.* 80:653-657.
- MacDicken, K.G. and Bhumibhamon, S. 1990. Barefoot tree breeders: the use of farm resources for multipurpose tree species improvement. Pp 149-154 in Haugen, C., Medema L, and Lantican, C.B. (eds.), Multipurpose tree species research for small farms: strategies and methods, Proceedings of an international conference held November 20-23, 1989, Jakarta, Indonesia. Winrock International / International Development Research Centre of Canada, 217 pp.
- MacDicken, K.G. and Mehl, C.B. 1990. Farmers' perspective on tree improvement objectives for MPTs. Pp 45-53 in Glover, N. and Adams, N. (eds.) 1990. Tree improvement of multipurpose species. Multipurpose tree species network technical series, Vol. 2. Winrock Institute for Agricultural Development, 112 p.
- Mesén, J.F., Boshier, D.H. and Cornelius, J.P. 1994 Genetic improvement of trees in Central America, with particular reference to Costa Rica. Pp 249-255 in Leakey, R.R.B. and Newton, A.C. (eds.). 1994. Tropical trees: the potential for domestication and the rebuilding of forest resources. Proceedings of a conference organized by the Edinburgh Centre for Tropical Forests, Herriot-Watt University, Edinburgh, 23-28 August 1992. London, HMSO, 284p.

- Murillo, O. and Valerio, J., 1991. *Gmelina arborea* Roxb., especie de árbol de uso múltiple en América Central. Informe Técnico N°181, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Raintree, J.B. and Taylor, D.A. (Eds.). 1992. Research on Farmers' objectives for tree breeding. Bangkok, Thailand. Winrock International. 132 + iv pp.
- Simons, A.J. 1992. Genetic improvement of non-industrial trees. *Agroforestry Systems*, 18, 197-212.
- Simons, A.J., MacQueen, D.J. and Stewart, J.L. 1994. Strategic concepts in the domestication of non-industrial trees. Pp 91-102 in Leakey, R.R.B. and Newton, A.C. (eds.). 1994. Tropical trees: the potential for domestication and the rebuilding of forest resources. Proceedings of a conference organized by the Edinburgh Centre for Tropical Forests, Herriot-Watt University, Edinburgh, 23-28 August 1992. London, HMSO, 284p.
- Sinclair, F.L., Verinumbe, I. and Hall, J.B. 1994. The role of tree domestication in agroforestry. Pp 124-136 in Leakey, R.R.B. and Newton, A.C. (eds.). 1994. Tropical trees: the potential for domestication and the rebuilding of forest resources. Proceedings of a conference organized by the Edinburgh Centre for Tropical Forests, Herriot-Watt University, Edinburgh, 23-28 August 1992. London, HMSO, 284p.
- Ugalde, L. 1989. The MIRA management information system for fuelwood and multi-purpose tree species research in tropical areas. Pp 86-102 in Rose, D.W. and Ugalde, L. (eds.), Data base management applications in forestry research: an international workshop, June 20-25 1988. CATIE, Serie Técnica, Informe Técnico No. 143, 102 p.
- Venkatesh, C.S. 1988. Genetic improvement of multi-purpose tree species. *International tree crops journal*, 5 (3): 109-124.
- Von Platen, H., 1995. Inversiones a largo plazo: ¿cómo tomar en cuenta la inflación y los intereses? *Revista Forestal Centroamericana* 11(4):16-18.

- Willan, R.L. 1988. Economic returns from tree improvement in tropical and subtropical conditions. Technical Note 36, DANIDA Forest Seed Centre.
- Zobel, B. and Talbert, J. 1984. Applied forest tree improvement. New York, John Wiley. 505pp.

Table 1. Present value costs at 5% discount rate of one progeny trial / seedling seed orchard in a Gmelina arborea improvement

activity	year	actual cost ¹ (\$US)	present value (\$US)	source	Notes / assumptions
plus-tree selection @ \$22/ tree	-1	523	556	2	two trees selected/day; note that total cost is per each of 3 trials
seed collection @ \$20/tree	-1	466	496	3	five trees/day, two visits/tree note that total cost is per each of 3 trials
nursery costs	-1	194	199	2,3,4,5	
establishment @ \$702/ha	0-1	1404	1416	2,3	includes soil sampling, site clearance, planting, replanting
maintenance @ \$433/ha (average of first two years)	0-4	2098	1976	2,3	includes fertilization, spot and general cleaning, stump pruning, firebreak
measurement, analysis	3	936	808	2	includes consultant time (2 days @ \$300 p.d.)
conversion to seed orchard (genetic thinning) at \$232/ha	3-4	394	332	2	
subtotal			5783		
15% overhead			867.45		
total			6650.45		

¹wage rates: technician (B.Sc.) \$16000 p.a., field assistant \$8000 p.a., labourers \$3500 p.a.; ²CATIE Tree Improvement Project records; ³MIRA data base (Ugalde, 1989) database records; ⁴Murillo and Valerio, 1991; ⁵Latin American Forest Tree Seed Bank (BLSF), CATIE

Table 2. Present value costs at 5% discount rate for one clonal seed orchard in a *Gmelina arborea* improvement programme in Hojancha, Costa Rica

activity	year	total actual cost (\$US) ¹	present value (\$US)	source	notes/assumptions
collection of ramets	3	500	416	2	
grafting	3	640	533	2	
nursery costs	3 to 4	780	642	2	
establishment	3 to 4	1404	1165	2	includes soil sampling, site clearance, planting, replanting
maintenance	4 to 7	2588	2002	2	includes fertilization, spot and general cleaning, rootstock pruning, firebreak
present value subtotal			4758		
15% overhead			713.7		
total present value			5472		

¹wage rates: technician (B.Sc.) \$16000 p.a., field assistant \$8000 p.a., labourers \$3500 p.a.;

²CATIE Tree Improvement Project records;

Table 3. Total present value costs at 5% discount rate of a *Gmelina arborea* improvement programme in Hojancha, Costa Rica.

Component	Present value cost (US\$ ¹)
three progeny tests / seedling seed orchards	19951
one clonal seed orchard	5472
total	25423

Table 1. Results of a break-even financial analysis of a *Gmelina arborea* improvement programme in Hojancha, Costa Rica (base scenario and sensitivity analysis)¹.

<u>assumptions</u>	marginal yield increase due to programme (%)			
	5	10	15	20
	break-even annual planting requirement (ha) ²			
base scenario	125	62	41	31
orchard life of 10 years	201	101	67	50
orchard life of 25 years	110	55	37	28
25% increase in stumpage or in unimproved MAI	100	50	33	25
25% decrease in stumpage or in unimproved MAI	166	83	55	42
4 year seed production delay	152	76	51	38
only one trial planted	60	30	20	15

¹at 5% discount rate; ²i.e. the annual planting rate at which internal rate of return = the discount rate and net present value = zero

**4. SERIE "INFORMACIÓN BÁSICA SOBRE LAS ESPECIES DEL PROYECTO
MEJORAMIENTO GENETICO FORESTAL DEL CATIE"**

Acacia mangium (Mangium)

Comentarios generales

Mangium pertenece a la familia Leguminosae, sub-familia Mimosoideae. Es un árbol de porte mediano a alto, siempreverde, originario del noreste de Australia, Papúa Nueva Guinea y otras islas de Indonesia. Es una especie de muy rápido crecimiento, de madera atractiva, y ha mostrado buen desarrollo en sitios degradados y compactados, superando a muchas otras especies.

Requerimientos de clima y suelo

Mangium se ha plantado con éxito desde 0 hasta unos 850 msnm, con precipitaciones anuales de 650 a 4.400 mm y temperaturas medias superiores a los 22°C. Ha mostrado capacidad de crecer en suelos ácidos, degradados y compactados por sobrepastoreo.

Experiencias en Centro América

Mangium se ha plantado a espaciamientos de 2 x 2 m hasta 3 x 3 m, y ha presentado crecimientos de hasta 4 m en altura y 4 cm en dap por año en sitios buenos. Puede alcanzar alturas de 15 a 30 m y diámetros de hasta 90 cm.

Fuentes sugeridas de semilla

En Costa Rica se han establecido ensayos de procedencias en Buenos Aires de Puriscal, San Carlos y Puriscal, y plantaciones piloto en el CATIE. Los resultados iniciales han indicado la superioridad de la procedencia Morehead de Papúa Nueva Guinea y Abergowrie y Claudie River de Queensland, Australia. Con esta última procedencia se han establecido plantaciones semilleras que se espera inicien su producción en uno o dos años. También es posible solicitar directamente la semilla a través de CSIRO, Australia.

Usos

Mangium se utiliza para producción de madera de aserrío, leña, postes para construcciones, como cortina rompevientos, para control de la erosión, fijación de nitrógeno y como ornamental. Los filodios ("hojas" modificadas) también pueden ser utilizados como forraje. La madera es de buena calidad, similar a la del laurel, atractiva, fácil de trabajar y de excelente acabado.

Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.

Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica,

Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533

Semillas y vivero

Mangium produce entre 80.000 y 110.000 semillas por Kg, y se puede almacenar en frío y seco por varios años sin problemas. Antes de sembrar se debe sumergir la semilla en agua a 80°C (calentar el agua hasta que hierva, retirarla del fuego y entonces sumergir la semilla) hasta que se enfríe o sumergirla por 2 a 3 minutos y luego dejarla en agua a temperatura ambiente por 12 a 24 horas. La siembra puede hacerse en germinadores de arena con transplante a bolsas o directamente en las bolsas. La germinación se inicia a los 3-4 días y las plántulas están listas para la plantación en el campo (aproximadamente 30 cm de altura) en 3 a 4 meses. Generalmente no es necesario la inoculación de las plántulas.

Factores limitantes principales

En algunas zonas (por ejemplo, Colorado de Abangares) se ha observado el ataque de ratas que cortan los tallos. En la zona de Buenos Aires de Puntarenas, en un sitio de suelos arcillosos, mal drenaje, y altos contenido de aluminio, ocurrió un ataque de un hongo aún no identificado que eliminó completamente un ensayo. En otras regiones, por ejemplo San Carlos, Puriscal y Turrialba, el crecimiento ha sido excelente, sin problemas fitosanitarios.

Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.

Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica,

Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533

Albizia guachapele (Guayaquil)

Comentarios generales

Albizia guachapele pertenece a la familia Leguminosae, sub-familia Mimosoideae. Crece en forma natural desde Guatemala hasta Venezuela y el Caribe. Es un árbol de porte mediano a grande, deciuo, de crecimiento mediano, de madera atractiva, y es capaz de desarrollarse en sitios degradados, compactados y secos. Frecuentemente presenta mala forma, con múltiples bifurcaciones. Sin embargo, en forma natural existen árboles con fustes rectos y limpios hasta una altura de 6 metros o más; se cree que el problema de mala forma se puede rectificar en gran medida mediante técnicas de mejoramiento genético y técnicas silviculturales apropiadas.

Requerimientos de clima y suelo

En América Central, guayaquil crece naturalmente en el Pacífico Seco, desde el nivel del mar hasta los 800 msnm, prácticamente en todo tipo de suelo y en climas con una precipitación anual de 1.000 mm o menos. No se conocen sus límites como árbol productivo dentro de este rango natural, pero no se recomienda su plantación arriba de los 500 msnm. Posiblemente tenga mayor tolerancia a suelos pesados que otras especies maderables que se utilizan en la zona seca.

Experiencias en Centro América

En Costa Rica se han plantado más de 1.000 ha de guayaquil en los últimos años, casi todas en la zona baja de Guanacaste. La especie crece rápidamente en buenos sitios, pero no existen datos concretos al respecto. En Costa Rica comúnmente se han usado espaciamientos de 3m x 3m, pero actualmente existen tendencias hacia espaciamientos más pequeños (por ej. 2.5 x 2.5), debido a que la especie produce muy poca sombra y a densidades mayores puede tardar hasta 4 o 5 años en capturar el sitio, lo que provoca altos y prolongados gastos de establecimiento. En los mejores sitios, se anticipa que los turnos podrían ser de 20 a 30 años.

Fuentes sugeridas de semilla

El proyecto MGF del CATIE está trabajando con esta especie a nivel de ensayos de procedencias, descendencias, huertos semillero de plántulas y selección clonal. Sin embargo, los ensayos del proyecto están recién establecidos y todavía no han producido datos concluyentes. Por lo tanto, aun no se ha identificado ninguna procedencia superior y tampoco está disponible germoplasma mejorado.

Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.

Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica,

Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533

La semilla se debe recolectar de árboles que tengan fustes rectos y limpios, sin bifurcaciones muy bajas y que estén libres de otros defectos o enfermedades. Los árboles semilleros deben estar ubicados en la misma zona donde se pretende establecer la plantación, o por lo menos en condiciones similares, especialmente en cuanto a elevación; no se debe 'mover' semilla más de 250 m de altitud. Para cada plantación, la semilla debe provenir de por lo menos 15 árboles diferentes.

Usos

A. guachapele produce madera pesada, moderadamente densa (gravedad específica alrededor de 0.6), duradera en contacto con el suelo y de apariencia atractiva. Es apta para construcción liviana, pisos, construcción marina, ebanistería, fabricación de muebles, chapas, plywood, molduras interiores y durmientes, así como para postes y leña. La especie fija nitrógeno.

Semillas y vivero

Guayaquil produce entre 20.000 y 30.000 semillas por kilo. Se puede almacenar en frío y seco por varios años sin problemas. Antes de sembrar se debe sumergir la semilla en agua caliente (calentar el agua hasta que hierva, retirarla del fuego y entonces sumergir la semilla durante 30 segundos). Después se debe quitar la semilla del agua, esperar 60 segundos y sumergirla por 30 segundos más. Quitar la semilla nuevamente y, después de otro 30 segundos, sumergirla una tercera y última vez. Después, dejarla en agua fría durante 24 horas. Es muy importante que la semilla esté completamente madura al recolectarse, ya que de lo contrario, este tratamiento puede dañarla. Con lotes pequeños o experimentales, una alternativa es el corte de la testa de la semilla (escarificación manual). Este tratamiento se ejecuta usando una tijera fina, un cortador de uñas o un implemento parecido, teniendo cuidado de no dañar los tejidos interiores de la semilla. Este método se utiliza tradicionalmente en el vivero del CATIE, ya que produce una germinación alta y uniforme.

A. guachepele puede ser producida en bolsa, mediante siembra directa o mediante germinación en camas de arena con trasplante posterior a las bolsas. Sin embargo, en Costa Rica normalmente se produce como pseudoestaca, método de producción que, al igual que en otras especies, ofrece importantes ventajas económicas. En Hojancha, Guanacaste, las semillas se siembra directamente a una densidad de 20 x 20 cm en un sitio arado, rastreado y tratado con una insecticida apropiado (por ejemplo, Counter). La siembra se efectúa en mayo, al inicio de la estación lluviosa, de manera que a finales de la misma, las plántulas están suficientemente desarrollados para tolerar la época seca sin riego. Al empezar las lluvias nuevamente, se sacan las plántulas usando palas afiladas y se preparan las pseudoestacas, cortando el tallo y las raíces a 10 y 20 cm del cuello de la raíz, respectivamente.

Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.

Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica,

Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533

Factores limitantes principales

Hasta el presente no se ha notado ningún problema fitosanitario de importancia en Costa Rica.

*Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.
Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica,
Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533*

Alnus acuminata (Jaúl)

Comentarios generales

El Jaúl, conocido también como aliso, pertenece a la familia Betulaceae. Es nativo de las zonas altas y húmedas desde México hasta el norte de Argentina. Es una especie pionera, de rápido crecimiento, que coloniza aperturas en bosques, pastizales y suelos desnudos en laderas, orillas de ríos, caminos y carreteras. Normalmente forma pequeños rodales puros y densos donde presenta una buena capacidad de poda natural. Su habilidad para rebrotar es casi nula.

Requerimientos de clima y suelo

En Costa Rica el jaúl crece naturalmente desde 1300 hasta 3100 msnm, en sitios con temperaturas medias de 9° a 20 °C anuales. Tolera heladas de corta duración. Ocurre en lugares con precipitaciones medias de 1450 mm a 4000 mm anuales, con una estación seca de 1 a 5 meses. En general estos sitios mantienen una alta humedad relativa. Puede crecer en suelos pobres y pedregosos, desde arenosos hasta arcillosos. Tolera también suelos ácidos con pH de hasta 4.5.

Experiencias en Centro América

La mayoría de las plantaciones de jaúl en América Central se encuentran en Costa Rica, aunque existen algunas en Guatemala. Esta especie se ha plantado a elevaciones de 1400 y 2700 msnm, en sitios con precipitaciones medias anuales de 2000 a 4000 mm. El jaúl es una especie de rápido crecimiento, especialmente durante los primeros años de vida. Se han reportados crecimientos diamétricos de 1,3 cm a 2,8 cm anuales y crecimientos medios en altura de 1,3 m a 3,3 m anuales, dependiendo de la calidad del sitio. El porcentaje de supervivencia generalmente es mayor de 80 %.

Fuentes sugeridas de semilla

Hasta el momento no se ha identificado ninguna procedencia superior y tampoco existe germoplasma mejorado. El proyecto MGF del CATIE está trabajando a nivel de ensayos procedencias/descendencias y huertos semilleros de plántulas. Sin embargo, los ensayos están todavía jóvenes y aún no han producido resultados concluyentes. El Instituto Tecnológico de Costa Rica está en proceso de establecimiento de un rodal semillero.

Hasta tanto no exista material mejorado, la semilla se debe recolectar de árboles con fustes rectos y limpios, sin bifurcaciones y libres de otros defectos o enfermedades. Los árboles semilleros deben estar ubicados en la misma zona donde se pretende establecer la plantación, o por lo menos en condiciones similares. No es recomendable 'mover' semilla más de 250 m de altitud. Para cada plantación, la semilla debe provenir de por lo menos 15 árboles diferentes, preferiblemente separados un mínimo de 100 m entre sí cuando se recolecta en poblaciones naturales.

Usos

La madera es suave y liviana pero firme, con un peso específico de 0.36. No presenta diferencia de color entre albura y duramen. Color crema en condición verde y ligeramente rosada en condición seca. De textura muy fina, grano recto y buen acabado. Fácil de trabajar y sin problemas de torceduras o rajaduras. Seca fácilmente al aire.

Se usa en carpintería, construcción interna, puertas, formaletas para concreto, cajas, chapa y madera contrachapada, como alma de tableros, tableros de partículas, muebles, postes previamente preservados, ataúdes, artesanía, lápices, palillos y cajas de fósforos, palos de escoba, mangos de herramientas, hormas y tacones para zapatos, etc. La leña arde bien, en forma pareja y puede quemarse cuando está verde. Posee un alto poder calorífico (4600 kcal/kg) con un bajo contenido de cenizas (34%).

Por su condición de especie colonizadora y su capacidad para fijar nitrógeno se le utiliza en la recuperación de suelos degradados y para mejoramiento de pastizales. Se usa principalmente como árboles dispersos o en pequeños grupos en pastizales destinados a ganadería de leche. También se le puede usar como rompevientos y para separar diferentes secciones de pastoreo.

Semillas y vivero

Normalmente el jaúl fructifica de noviembre a enero y la producción de semillas es abundante. Es recomendable recolectar los conos cuando se ponen de color verde amarillento a café claro, justo antes de que abran. La semilla de conos color café oscuro y de conos secos presenta un porcentaje de germinación muy inferior.

Los conos se ponen a abrir preferiblemente a la sombra en un lugar bien ventilado. Si es necesario se pueden poner al sol por periodos cortos (1 hora). Periodos prolongados de exposición solar puede matar la semilla.

El jaúl produce entre 1.500.000 y 2.200.000 semillas por Kg. Usualmente el porcentaje de germinación es de 50 a 70% con semilla fresca. El tiempo de inicio de la germinación es de aproximadamente una semana. No se debe seleccionar semilla por tamaño, ya que se corre el riesgo de reducir la base genética de las plantaciones.

Cuando se almacena a temperatura ambiente la semilla pierde rápidamente la viabilidad (2-3 meses). En CATIE se ha almacenado semilla con buenos resultados en cámara fría a una temperatura de 5 °C y una humedad relativa 30%. Se han utilizado frascos de vidrio o bolsas plásticas herméticamente cerradas. Después de tres años se han obtenido porcentajes de germinación de 25 a 50 %, dependiendo de la condición inicial del lote al momento de almacenamiento.

La semilla de esta especie no necesita tratamiento pregerminativo. Como sustrato de germinación se puede usar sin problema arena fina, bien lavada y desinfectada. Como la semilla es muy pequeña se debe tapar con una capa muy fina (1 mm) de arena, para lo cual es útil usar un colador corriente de cocina. La arena debe permanecer húmeda durante la germinación. Debido al tamaño de la semilla el riego debe hacer un forma nebulizada. Para obtener una adecuada densidad de siembra en las camas de germinación se recomienda regar al voleo de 10 a 20 gramos de semilla

por m². Normalmente el jaúl ha sido producido en bolsas, aunque también se produce a raíz desnuda. Las plántulas están listas para llevar al campo (30-40 cm) en 6 meses.

Factores limitantes principales

Los factores más importantes que limitan el desarrollo de esta especie son las malezas, las hormigas defoliadoras y el ataque de hongos en el vivero. También es susceptible al ataque del muérdago (matapalo).

Recientemente en Costa Rica algunas plantaciones han sido atacadas por el coleóptero *Scolitides alni*, provocando daños severos. Este es un barrenador de la corteza y del cambium, que produce la muerte de los árboles. Se ha observado que el ataque se da principalmente en sitios marginales que presentan limitantes para el crecimiento vigorosos del jaúl (Rojas, F, ITCR, comunicación personal)

Araucaria hunsteinii (Araucaria)

Comentarios generales

A. hunsteinii pertenece a la familia Araucariaceae, y es originaria de Papúa Nueva Guinea. Es una especie de crecimiento lento al inicio, pero que sobrepasa a muchas otras especies posteriormente. La forma del fuste es inmejorable, su madera de excelente calidad y tiene la capacidad de prosperar en suelos pesados, de drenaje deficiente, donde muy pocas especies pueden crecer. El principal limitante para su uso en Costa Rica ha sido la falta de semilla en cantidades suficientes. La producción local es mínima, el almacenamiento no es posible por periodos largos y la importación se dificulta por la pérdida tan rápida de viabilidad. Algunas parcelas establecidas por el CATIE han iniciado la producción de semilla, y de lograrse la producción en cantidades mayores se podría aumentar el uso de esta especie, con un gran potencial especialmente para las zonas húmedas.

Requerimientos de clima y suelo

Araucaria ha mostrado buen desarrollo en Costa Rica a altitudes desde 600 a 1400 msnm, con precipitaciones de 1600 a 2600 mm y temperaturas de 18 a 27°C. Puede crecer en suelos desde franco-arenosos a arcillosos, con drenaje de bueno a deficiente y pH neutros.

Experiencias en Centro América

La experiencia con Araucaria en Costa Rica es muy limitada. Fue introducida en 1966, cuando se establecieron algunas parcelas en el CATIE y en la finca Peet, Juan Viñas. Posteriormente, en 1968 y 1971 se establecieron otras parcelas pequeñas en el CATIE y finalmente, en 1979 se plantó un ensayo de procedencias también en el CATIE. De estas mismas introducciones se plantaron algunos árboles como ornamentales en propiedades públicas y privadas en Turrialba, El Guarco y Puriscal. En estas parcelas se han utilizado espaciamientos de 3 x 3 m y se han registrado crecimientos promedio en altura y dap de alrededor de 1,5 m y 2,2 cm al año, respectivamente. Algunos árboles de 20 años en el CATIE han alcanzado alturas superiores a los 30 m y diámetros superiores a los 60 cm.

Fuentes sugeridas de semilla

Al presente no se dispone de información o de semilla, aunque todas las introducciones de Papúa Nueva Guinea han presentado crecimientos buenos y rectitud excelente.

Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.

Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica,

Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533

Usos

La madera de Araucaria es medianamente densa (0,40-0,48), muy atractiva, sin nudos, fácil de trabajar y de buen acabado. Se utiliza para construcciones en general, ebanistería, postes de transmisión, y en su lugar de origen es la especie principal en la industria de plywood de alta calidad. En Costa Rica ha tenido una amplia aceptación como árbol ornamental.

Semillas y vivero

Araucaria produce entre 1.700 y 1.800 semillas por Kg y no es posible almacenarla por periodos largos, por lo cual debe sembrarse casi inmediatamente. No requiere tratamientos pre-germinativos y puede sembrarse en camas de germinación o directamente en bolsas. La semilla germina en pocos días y las plántulas alcanzan alturas adecuadas para la plantación (alrededor de 30 cm) en 12 a 21 meses.

Factores limitantes principales

Hasta la fecha no se observado ningún problema fitosanitario de importancia en Costa Rica.

*Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.
Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica,
Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533*

Bombacopsis quinata (Pochote)

Comentarios generales

Bombacopsis quinata pertenece a la familia Bombacaceae. Es un árbol deciduo, de porte grande, frecuentemente cubierto con aguijones. Es nativo a América Central y América del Sur, desde el sur de Honduras hasta el centro de Venezuela. En América Central se encuentra principalmente en la vertiente pacífica. En forma natural crece entre el nivel del mar hasta los 800 msnm, en zonas con época seca de tres a seis meses, con una precipitación anual desde 900 mm en Nicaragua hasta 3000 mm en Costa Rica. Su hábitat natural abarca una gran variedad de suelos, desde arcillas pesadas hasta suelos francos y fértiles, pero para fines productivos se le considera una especie sensible, no apta para sitios muy adversos. La madera de *B. quinata* es una de las más apreciadas en los mercados centramericanos, por su color y figura atractivos, su facilidad de trabajar, y por su estabilidad dimensional.

Requerimientos de clima y suelo

En términos generales, *B. quinata* se recomienda para zonas con estación seca marcada, hasta una altitud de 600 msnm. La experiencia con esta especie arriba de los 600 msnm es limitada, y podría tener pocas posibilidades de desarrollar una forma aceptable a tales altitudes. Aunque sobrevive y se reproduce en muchos tipos de suelo, su crecimiento se ve muy reducido en suelos compactados e infértiles; en este sentido, está considerada como una especie exigente. Aunque en Colombia la empresa Monterrey Forestal está cultivando pochote exitosamente en arcillas pesadas, el crecimiento adecuado de los árboles en estas condiciones es posible debido al sistema intensivo de preparación del suelo y al mantenimiento mecanizado. No se recomienda el uso de *B. quinata* en sitios sin estación seca marcada. Aunque su crecimiento ha sido aceptable en tales sitios (en Turrialba, Costa Rica, y Tela, Honduras), es probable que la calidad del producto final sea inaceptable.

Experiencias en Centro América

Al igual que con la mayoría de las especies forestales nativas, en América Central hay poca experiencia en el establecimiento y manejo de plantaciones de *B. quinata*. Sin embargo, en Costa Rica hay varios programas de reforestación, tanto por finqueros privados como por compañías. Hasta 1988 se habían establecido más de 4400 ha, la mayoría en el Pacífico Seco. El incremento medio anual al fin del turno de 30 años en un sitio de calidad media puede ser de $10,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, lo cual la califica como una especie de crecimiento lento a mediano. El turno esperado del pochote sería normalmente de 20 a 30 años. Normalmente se usa un espaciamiento de 3 m por 3 m.

Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.

Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica,

Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533

Fuentes sugeridas de semilla

Durante muchos años, *B. quinata* ha sido sometido a una explotación severa a lo largo de todo su rango en América Central. Dicha explotación ha llevado a problemas serios en la escogencia de fuentes adecuadas de semilla para la reforestación, porque los árboles que quedan generalmente han sobrevivido debido a su poco valor maderable. Tales árboles deben evitarse como fuentes de semilla. Tampoco son aptos para la recolección de semilla los árboles en cercas, los cuales se derivan de árboles de fenotipo desconocido y, en muchos casos, pueden provenir de un solo árbol.

Debido a la facilidad de enraizar material adulto, *B. quinata* se presta al establecimiento de huertos semilleros clonales, ventaja que ha sido aprovechada en Costa Rica, Honduras y Nicaragua. Sin embargo, los huertos establecidos aún no están en producción operacional. Tampoco existe información en cuanto a procedencias.

La semilla se debe recolectar de árboles que tengan fustes rectos y limpios, sin bifurcaciones muy bajas y que estén libres de otros defectos o enfermedades. Los árboles semilleros deben estar ubicados en la misma zona donde se pretende establecer la plantación, o por lo menos en condiciones similares, especialmente en cuanto a elevación; no se debe 'mover' semilla más de 250 m de altitud. Para cada plantación, la semilla debe provenir de por lo menos 15 árboles diferentes.

Usos

Bombacopsis quinata es sobre todo una especie productora de madera de alta calidad. Tiene una apariencia atractiva, es fácil de trabajar y tiene una alta estabilidad dimensional, por lo que es muy buscada para la elaboración de marcos de puertas y ventanas y otros usos donde dicha característica es especialmente importante. Además, la madera del pochote es adecuada para construcción liviana, muebles y ebanistería, chapas, molduras interiores, postes y en la fabricación de plywood. La madera es moderadamente pesada (gravedad específica 0,39-0,45).

El árbol también se utiliza como poste vivo.

Semillas y vivero

En América Central, la época de producción de semillas de *B. quinata* ocurre de finales de marzo hasta principios de mayo. Cuando las semillas están maduras, la cápsula abre y las semillas son diseminadas por el viento, proceso posibilitado por el algodón que envuelve las mismas. Es prácticamente imposible recolectar las semillas después de su diseminación, por lo cual es necesario recolectar las cápsulas de los árboles durante los pocos días después de la maduración de la semilla y antes de que abra la cápsula o, idealmente, cuando la cápsula está en proceso de revantarse.

Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.

Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica,

Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533

Las cápsulas maduras abren fácilmente apretándolas con la mano. También se pueden poner al sol, pero en este caso es aconsejable taparlas con tela metálica para evitar que vuele la semilla. La semilla madura y sana es de color café oscuro y sin arrugas. La semilla que no presente estas características se debería descartar, puesto que no germinará. Hay entre 12.000 y 32.000 semillas por kilo. No se necesita ningún tratamiento pregerminativo. La semilla puede ser almacenada en frío si problemas por periodos prolongados.

B. quinata puede ser producido en bolsa, empleando técnicas estándares, ya sea mediante siembra directa o con transplante. Sin embargo, en Costa Rica normalmente se produce como pseudoestaca o como 'plantón', métodos de producción que, al igual que en otras especies, ofrece importantes ventajas económicas. Las técnicas de siembra en el vivero son iguales para ambos métodos. En Hojancha, Guanacaste, las semillas se siembran directamente en el suelo, a una densidad de 20 cm x 20 cm en un sitio arado, rastreado y tratado con una insecticida apropiado (tal como Counter). La siembra se efectúa en mayo, a inicios de la estación lluviosa y a finales de la misma, las plántulas están suficientemente desarrolladas para soportar la época seca sin riego.

En el caso de las pseudoestacas, al empezar las lluvias nuevamente, se sacan las plántulas usando palas afiladas y se preparan las pseudoestacas, cortando el tallo y las raíces a 10 y 20 cm del cuello de la raíz, respectivamente. En el caso de los plantones, se saca el material del vivero en abril. Se deshoja y se corta el tallo principal y las raíces a 30-40 cm y 10 cm del cuello de la raíz, respectivamente. Los plantones pueden establecerse en el campo a mediados de abril, es decir, hasta un mes antes del inicio de las lluvias.

Factores limitantes principales

Hasta la fecha no se han identificado ningún factor limitante importante.

Cedrela odorata (Cedro amargo)

Comentarios generales

El cedro, de la familia Meliaceae, crece en forma natural desde México hasta Argentina y Bolivia. Su madera es de excelente calidad para trabajos finos, lo cual ha llevado a la sobreexplotación y la extinción de muchas poblaciones a lo largo de su rango natural. En Costa Rica sólo es posible encontrar árboles aislados y algunos rodales pequeños, generalmente de mala forma. Los intentos de reforestación con cedro generalmente han fracasado debido al ataque del barrenador del ápice (*Hypsipyla grandella*), el cual provoca la bifurcación y ramificación excesiva del fuste. Al presente, parece que la única opción para plantar esta especie es utilizando espaciamientos amplios, en combinación con cultivos y otras especies forestales y bajo un sistema de manejo silvicultural intensivo que acelere el crecimiento inicial.

Requerimientos de clima y suelo

El cedro es una especie versátil que crece a altitudes de 0 a 1200 msnm, tanto en climas secos como húmedos (1600-2500 mm de precipitación anual), con temperaturas de 22 a 32 °C. Prefiere suelos arenosos o franco-arenosos, con buen drenaje, pH neutro y fertilidad mediana a alta.

Experiencias en Centro América

La experiencia con esta especie en Centro América es muy limitada debido al problema mencionado al inicio, lo cual ha restringido su uso a nivel operacional. Las investigaciones han estado paralizadas por más de 20 años, ante la imposibilidad de encontrar métodos efectivos y económicos de control del barrenador. En 1990, el Proyecto MGF retomó las actividades de investigación con esta especie, estudiando la posible ocurrencia de tolerancia natural y la eventual clonación de genotipos tolerantes. Se han realizado colecciones por progenie en Costa Rica, Honduras, Trinidad y Tobago y California, y se han establecido pruebas genéticas en el CATIE y en el CIBC (Trinidad y Tobago). Asimismo, se ha desarrollado una técnica sencilla y efectiva para la propagación vegetativa a través de estacas juveniles.

El cedro puede alcanzar alturas de 30 a 40 m, es exigente a la luz aunque tolera la sombra cuando joven. Normalmente se planta a espaciamientos amplios, mezclada con otros cultivos perennes, y puede producir de 11 a 22 m³ ha⁻¹ año⁻¹.

Fuentes sugeridas de semilla

Los primeros ensayos de procedencias y progenies son aún jóvenes, así que no es posible brindar recomendaciones sobre fuentes de semilla o clones. Se espera que en el transcurso de los próximos años se obtenga más información al respecto. La prioridad en las investigaciones es la determinación de la posible ocurrencia de inmunidad natural hacia el ataque del barrenador, así como las bases de la recuperación al ataque. Si estas investigaciones son exitosas, se espera iniciar un programa de clonación de genotipos tolerantes. Preliminarmente, la procedencia de San Carlos, Costa Rica, ha mostrado crecimiento y forma superiores a varias otras procedencias locales e introducidas en ensayos jóvenes en el CATIE, así como en varios otros países donde ha sido introducida.

La semilla se debe recolectar de árboles que tengan fustes rectos y limpios, sin bifurcaciones muy bajas y que estén libres de otros defectos o enfermedades. Los árboles semilleros deben estar ubicados en la misma zona donde se pretende establecer la plantación, o por lo menos en condiciones similares, especialmente en cuanto a elevación; no se debe 'mover' semilla más de 250 m de altitud. Para cada plantación, la semilla debe provenir de por lo menos 15 árboles diferentes.

Usos

El cedro produce madera valiosa de excelente calidad, durable, con densidad de 0,37 a 0,45, fácil de trabajar y sin problemas de secado. Se utiliza para construcción en general, ebanistería fina y enchapados.

Semillas y vivero

El cedro produce entre 45.000 y 60.000 semillas por Kg, y puede almacenarse en seco y frío por uno o dos años. No es necesario realizar tratamientos pre-germinativos a la semilla, y la germinación ocurre aproximadamente entre 14 y 30 días. El trasplante puede hacerse a bolsas o a eras, preferiblemente con sombra inicial, y las plántulas alcanzan alturas adecuadas para la plantación (aproximadamente 30 cm) en 6 a 15 meses. Puede plantarse en adobe o como plantas deshojadas. En este último caso se deshoja la planta dejando únicamente las hojas superiores y se corta el tallo y las raíces a 30-40 cm y 10 cm del cuello de la raíz, respectivamente. Actualmente es posible obtener semilla de los bancos de semillas de ESNACIFOR, Honduras o CIBC, Trinidad y Tobago.

Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.

Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica.,

Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533

Cordia alliodora (Laurel)

Comentarios generales

El laurel pertenece a la familia Boraginaceae. Es un árbol de porte mediano a grande, autopoda, y crece naturalmente a lo largo de la América Tropical y el Caribe. En América Central, se le encuentra a elevaciones desde el nivel del mar hasta los 1500 m s.n.m.. Ocurre en climas sin y con estación seca marcada, en un rango amplio de suelos desde arcillas infértiles hasta suelos de 'calidad agrícola'. Sin embargo, para fines productivos se le considera una especie exclusivamente para sitios de alta fertilidad, y particularmente para uso en sistemas agroforestales.

Requerimientos de clima y suelo

En Costa Rica, se han establecido muchas plantaciones de laurel en sitios totalmente inapropiados (por ejemplo, en potreros abandonados y de mala calidad), lo cual ha causado el fracaso de muchas de las mismas. Sin dudas, una razón por lo cual se ha plantado laurel en tales sitios es la creencia errónea que una especie es automáticamente apta para plantaciones en cualquier zona donde crece naturalmente. El laurel en particular ocurre naturalmente en una gran gama de sitios donde es capaz de sobrevivir y reproducirse pero donde jamás se podrían establecer plantaciones productivas. Es una especie para suelos fértiles y con buen drenaje hasta los 600 m s.n.m. en climas sin estación seca. Fracasa en sitios con un alto contenido de aluminio, mientras a elevaciones mayores a los 600 m s.n.m. frecuentemente desarrolla una forma muy mala. En la ausencia de datos concretos, el Proyecto MGF recomienda que no se plante laurel en suelos de pH menor de 5,6. Además, no se debería plantar el laurel en zonas con una estación seca marcada, puesto que no ha sido ensayado adecuadamente en tales condiciones.

Experiencias en Centro América

En Costa Rica se han plantado más de 6.000 ha de laurel en los últimos años. Normalmente se han usado espaciamientos de 2,5m x 2,5m; el uso de densidades menores puede provocar que la especie tarde hasta 4 o 5 años en capturar el sitio, lo que produce altos y prolongados gastos de establecimiento. Existen pocos datos sobre su crecimiento en Centro América. Sin embargo, en las mejores plantaciones demuestra un crecimiento inicial impresionante, el cual también se ha notado en otras regiones, donde el incremento anual en diámetro durante los primeros años puede ser de hasta 7 cm (Greaves y McCarter, 1990). Hudson (1984) reportó que la altura yd.a.p. a los cinco años en plantaciones en Vanuatu fueron de 15m y 12cm respectivamente en los mejores sitios. Normalmente, se han proyectado turnos de 20-25 años para laurel (Vega, 1977; Salas y Valencia (1979); Hudson (1984). En Costa Rica, Alfaro (1991)

Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.

Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica,

Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533

proyectó, con base en la información presentada por Somarriba y Beer (1987), un turno de 30 años y un incremento medio anual de 13,5 a 22,6 m³/ha/año.

Fuentes sugeridas de semilla

Tanto en Costa Rica (Boshier, 1984) como en un gran cantidad de ensayos de procedencias en muchos países (Greaves y McCarter, 1990), se ha demostrado que, entre las procedencias que se han ensayado hasta el momento, existen dos grupos muy distintos: las que provienen de zonas sin estación seca marcada y las que provienen de zonas con estación seca. Las procedencias de zonas secas crecen mucho más lentamente, tienen una forma muy inferior, y tiende a autopodarse menos que las procedencias de zonas húmedas. Estas tendencias se manifiestan tanto en las zonas secas como en las zonas húmedas. Por lo tanto, la primera regla importante en la escogencia de fuentes de semilla de laurel es: siempre usar semilla de árboles de zonas húmedas y nunca de árboles de zonas secas.

Existe también evidencia de variación entre procedencias de la zona atlántica de América Central. Las investigaciones iniciales del Proyecto MGF mostraron el buen comportamiento de la procedencia San Francisco de La Ceiba, Honduras en varios sitios en Costa Rica. Sin embargo, la representación de las procedencias locales en los ensayos fue poca, por lo cual se establecieron más ensayos con un rango ampliado de procedencias, los cuales permitirán en los próximos años la definición de las mejores procedencias para plantar en los tipos de sitios en cuestión. El Proyecto MGF está trabajando también en el desarrollo de huertos semilleros y clones seleccionados de laurel. Sin embargo, dichos programas son recién empezados y hasta el momento no hay germoplasma mejorado disponible.

Mientras se desarrollan fuentes de material mejorado, la semilla se debe recolectar de árboles que tengan fustes rectos y limpios, sin bifurcaciones muy bajas y que estén libres de otros defectos o enfermedades. Los árboles semilleros deben estar ubicados en la misma zona donde se pretende establecer la plantación, o por lo menos en condiciones similares, especialmente en cuanto a elevación; no se debe 'mover' semilla más de 250 m de altitud. Para cada plantación, la semilla debe provenir de por lo menos 15 árboles diferentes.

Usos

La madera de laurel tiene amplia aceptación en los mercados centroamericanos. Tiene una apariencia atractiva y es fácil de trabajar. Tiene una estabilidad dimensional excelente y el duramen se considera durable al biodeterioro (Benítez y Montesinos, 1988). Brazier y Moore (1984) analizaron muestras de cinco árboles de 10 años de una plantación de Vanuatu, y encontraron gravedades específicas de 0,38-0,44, lo cual clasifica la madera como moderadamente liviana a moderadamente pesada. Se usa en la fabricación de muebles, tablilla, contrucción liviana y carpintería en general.

La especie es de tipo colonizador y comunmente los agricultores de América Central mantienen la regeneración natural de laurel que ocurre en sus potreros, milpas

Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.

Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica,

Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533

y, particularmente en Costa Rica, cafetales, donde además de servir como un tipo de 'alcancía viva', puede ser importante como fuente de sombra para el cultivo.

Semillas y vivero

El laurel de la procedencias recolectadas por el Proyecto MGF del CATIE tiene entre 80.000 y 110.000 semillas por kilo. Debido a su tamaño pequeño, es necesario escalar los árboles para recolectar la semilla. El escalador corta ramitas con semilla madura. Estas no se debería tirar al suelo, puesto que se perdería semilla, sino que se tira hacia abajo donde pueden ser atrapadas en un saco antes de impactar con el suelo. Posteriormente, se seca la semilla (en el CATIE, se utiliza un cuarto seco) antes de almacenarla en empaques herméticas a 5°C. En estas condiciones, es posible almacenar la semilla durante varios años sin bajas importantes en su viabilidad.

El laurel puede ser producida en bolsa, mediante siembra directa o mediante germinación en camas de arena con trasplante posterior a las bolsas. Sin embargo, en Costa Rica normalmente se produce como pseudoestaca, método de producción que, al igual que en otras especies, ofrece importantes ventajas económicas. Se siembra la semilla primero en cajas de arena esterilizada con formalina a 1%. Unas 22 días después de la germinación, se repican las plantitas a las eras bajo sombra, donde se plantan a un espaciamiento de aproximadamente 23 cm por 23 cm. Unos 14 días después del repique, se puede quitar la sombra. Posteriormente, se aplican los cuidados rutinarios de deshierba y riego. Las plantas están listas para plantar al campo en 5 a 6 meses después del repique.

Factores limitantes principales

Además de la sensibilidad de la especie a la calidad del sitio, otro factor limitante de importancia es la presencia del pasto calingero (*Melinis minutiflora*), el cual tiene un efecto alelopático (es decir, tóxico) contra el laurel. Es importante eliminar completamente esta especie antes de plantar laurel.

Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.

Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica,

Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533

Referencias

- Alfaro M., M. 1991. Evaluación financiera de la inversión en plantaciones forestales. *Silvoenergía* No. 48, octubre de 1991, CATIE, Costa Rica, 4 pp.
- Benítez, R.F.; Montesinos, J.L. 1988. Catálogo de cien especies forestales de Honduras: Distribución, Propiedades y Usos. Siguatepeque, Honduras: Escuela Nacional de Ciencias Forestales, 1988, 216 p.
- Boshier, D.H. 1984. The international provenance trial of *Cordia alliodora* in Costa Rica. In Provenance and genetic improvement strategies in tropical forest trees, Mutare, Zimbabwe, April 1984. Eds. Barnes, R.D. y Gibson, G.L. Commonwealth Forestry Institute, Oxford, y Forest Research Centre, Harare. p 168-185.
- Brazier, J.; Moore, G. 1984. The timber of young, plantation grown *Cordia alliodora* from Vanuatu (New Hebrides). *Commonwealth Forestry Review* 63 (3): 173-179.
- Greaves, A.; McCarter, P.S. 1990. *Cordia alliodora*. A promising tree for tropical agroforestry. *Tropical Forestry Papers* No. 22. Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford. 37 p.
- Hudson, J.M. 1984. A note on *Cordia alliodora* in Vanuatu. *Commonwealth Forestry Review* 63 (3): 181-183.
- Salas, G. de las; Valencia, J. 1979. Notas sobre la reforestación con *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken en dos zonas de bajura: Tumaco y Carare-Opon, Colombia. *Serie Técnica*, Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF), Colombia No. 10, 34 p.
- Somarriba, E.J.; Beer, J.W. 1987. Dimensions, volumes and growth of *Cordia alliodora* in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 18: 113-126.
- Vega, C.L. 1977. La silvicultura de *Cordia alliodora* (R & P Oken) como especie exótica en Surinam. *Boletín, Instituto Latino-americano* No. 52, 3-26.

Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.

Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica,

Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533

Cupressus lusitanica (Ciprés)

Comentarios generales

El ciprés pertenece a la familia Cupressaceae. Es nativo de las montañas del sur de México, Guatemala, Honduras y El Salvador, donde crece principalmente entre 2200 y 3300 msnm. En Costa Rica fue introducido hace unos 100 años y se ha plantado con éxito en sitios arriba de 1300 msnm. Es una especie de crecimiento medio, aunque alcanza alturas superiores a los 30 m y diámetros mayores a 100 cm. Es monoica. Produce una madera atractiva, de color claro, muy usada para la producción de muebles y para la construcción de artesanados decorativos en interiores de viviendas. En Costa Rica es muy usado en cortinas rompevientos. También se le utiliza como árbol de navidad.

Requerimientos de clima y suelo

C. lusitanica puede adaptarse a un rango amplio de condiciones ambientales. Sin embargo, presenta los mejores crecimientos en sitios ubicados entre 1400 y 2500 msnm, con precipitaciones anuales de 1500 a 3000 mm, una temperatura media anual mayor que 12 °C (Chaves y Fonseca, 1991).

Es una especie exigente en suelos. El ciprés crece mejor en suelos franco arcillosos a arcillosos, bien drenados, neutros a ácidos, con buen contenido de materia orgánica, profundos y húmedos. Alfaro (1983) encontró en Costa Rica que, entre mayor sea el contenido de arcilla mejor es el crecimiento del ciprés, siempre y cuando haya un drenaje adecuado. La disponibilidad de fósforo y nitrógeno, así como la profundidad del horizonte A, son determinantes para el crecimiento de la especie. Por esa razón, crece mejor en sitios de relieve cóncavo o plano donde el suelo es más profundo y por lo tanto, hay una mayor disponibilidad total de esos elementos (Tschinkel, 1972, Fassbender y Tschinkel, 1974).

Experiencias en Centro América

Aunque el ciprés se establece en forma natural en suelo desnudo, normalmente se ha establecido por medio de plantaciones, utilizando plantas producidas en bolsa. Una buena selección del sitio, una buena preparación del terreno y un adecuado control de malezas, son necesarias para un desarrollo adecuado de esta especie.

El espaciamiento más usado para plantaciones para la producción de madera de aserrío es de 3x3 m. Para la producción de árboles de navidad se puede usar 1x1 m o 1x1,5 m.

La fertilización con fósforo y nitrógeno tiene un efecto positivo sobre el crecimiento inicial de la especie.

Si se desea producir madera sin nudos es necesario realizar podas debido a que la especie produce muchas ramas y no tiene una buena capacidad de autopoda. Se debe realizar las podas solo en los árboles que van a ser útiles para la producción de madera de aserrío.

En América Central las plantaciones han presentado un crecimiento mediano. Generalmente, el incremento medio anual en altura es de 0,7 a 1,5 m y el incremento medio en diámetro es de 1 a 2 cm anuales. En buenos sitios, el ciprés presenta un crecimiento en volumen de 20 a 25 m³/ha/año (Bucarey, 1967; Alonso, 1965)

Fuentes sugeridas de semilla

Existen algunos ensayos de procedencias y de procedencias-progenie que indican que las procedencias del Valle Central de Costa Rica presentan una buena base para la reforestación y para el inicio de programas de mejoramiento. La superioridad en el crecimiento de las procedencias costarricenses se ha presentado en un ensayo de nueve procedencias establecido en el Valle Central de Costa Rica (Soares, 1973) y en varios ensayos establecidos en Colombia. La rectitud del fuste y el diámetro pequeño de las ramas son también características sobresalientes del material de Costa Rica (Osorio, 1987). Sin embargo, no se conoce el origen de las plantaciones de Costa Rica, aunque probablemente se hayan realizado varias introducciones, lo que se manifiesta en la gran variabilidad que se da entre y dentro de plantaciones.

Con base en esta información el proyecto MGF ha realizado una selección intensiva de árboles plus en las mejores plantaciones de Costa Rica. Con la semilla de estos árboles se ha establecido una prueba de progenie que será convertida en un huerto semillero para la producción de semilla mejorada. Sin embargo, el ensayo es aún joven y no se sabe cuando empezará a producir semilla.

Por el momento, se recomienda recolectar y utilizar semilla de los mejores rodales del Valle Central, los cuales han sido identificados y evaluados por Quirós (1988). Con base en este trabajo se está estableciendo un rodal semillero en el Guarco, Costa Rica.

La semilla se debe recolectar de árboles de buen crecimiento, que tengan fustes rectos, cilíndricos y limpios, sin corteza en espiral, sin bifurcaciones, con ramas delgadas o medianas preferiblemente horizontales, y que estén libres de otros defectos o enfermedades (Quirós, 1988). Para cada plantación, la semilla debe provenir de por lo menos 15 árboles diferentes.

Usos

La madera de ciprés es de color amarillento a ligeramente anaranjado claro, presentando anillos de crecimiento visibles. Es de grano recto, moderadamente liviana, con un peso específico promedio de 0,44 (Fernández, 1971). La albura es fácilmente atacada por hongos.

El ciprés se usa principalmente para la fabricación de muebles de todo tipo y para la construcción en interiores donde es muy apreciada por su apariencia decorativa.

En Costa Rica esta especie es muy usada en anchas (6-12 hileras de árboles) cortinas rompevientos, tanto en pastizales como en cafetales de altura expuestos a vientos fuertes. Muchas de estas cortinas cuando llegan a la madurez son aprovechadas para aserrío. El ciprés también se planta para producir árboles de navidad lo que tarda entre uno y dos años.

Semillas y vivero

La semilla puede ser almacenada por varios años en cámara fría (5°C) y seca (30% HR). Generalmente existen entre 150.000 y 200.000 semillas por kg y el porcentaje de germinación varía de 10% a 15%. Se puede colocar la semilla en agua a temperatura ambiente y se agita por 20 minutos. El material que flote se desecha debido a que no es viable.

La semilla germina bien en arena fina colada y desinfectada. La arena se debe mantener húmeda, aunque no empapada, durante el periodo de germinación. Se debe evitar que la arena se seque aunque sea por periodos cortos ya que se puede interrumpir el proceso de germinación y causar la muerte de semillas y plántulas. La semilla se debe distribuir bien en las camas de germinación y taparse con una capa fina (2 mm) de arena.

Las plántulas deben transplantarse cuando aparecen las primeras hojas. Debe tenerse el cuidado de no tomar las plántulas por el tallo ya que el calor y la presión de los dedos las pueden quemar. Por esa razón es recomendable tomarlas por las hojas y ponerlas en una bandeja con agua para el transporte al sitio de siembra. El ciprés se puede producir a raíz desnuda aunque es más usual y da mejores resultados producirlo en bolsas de polietileno. Las bolsas se deben llenar con una mezcla de una parte arena fina y dos partes de tierra fértil. Los arbolitos están listos para llevar a la plantación cuando alcanzan unos 30 cm de altura, lo cual tarda de cinco a seis meses. Para un adecuado desarrollo en el vivero es recomendable fertilizar, especialmente con fósforo y nitrógeno. Es recomendable que el vivero esté lo más cercano posible al sitio de plantación.

Factores limitantes principales

Entre los factores limitantes principales para el crecimiento del ciprés están los suelos poco profundos (horizonte A delgado) y suelos con mal drenaje. Areas con vientos muy fuertes, con escasa precipitación (menos de 1500 mm) o con heladas frecuentes se consideran también marginales. Esta especie es también muy susceptible a la competencia con gramíneas, especialmente durante los dos primeros años.

El principal problema fitosanitario que se ha presentado en plantaciones es el hongo *Pestalotia sp.* Aunque los efectos no han sido grandes es necesario mantener un buen control para que esta enfermedad no se convierta en una plaga importante. El único método de control que se ha aplicado hasta ahora es la eliminación de los árboles enfermos. De esta forma se ha logrado que la enfermedad no se extienda a los árboles vecinos.

El control de plagas y enfermedades en plantaciones de ciprés usando medios químicos es impráctico y antieconómico y el control biológico todavía no es una alternativa viable. En general, las plagas y enfermedades se presentan en árboles débiles o viejos que crecen en condiciones adversas de clima, suelo o manejo. Por lo tanto la mejor forma de contrarrestar su efecto es estableciendo las plantaciones en sitios adecuados y aplicar los tratamientos silviculturales (limpias, podas, raleos, aprovechamientos) a tiempo.

Referencias

- Alfaro, M. de los A. 1983. Relación entre factores edáficos e índice de sitio para *Cupressus lusitanica* (Mill) en el Valle Central. Tesis Lic. en Ciencias Forestales. Heredia, C.R., UNA, Escuela de Ciencias Ambientales. 111 p.
- Alonso, J.C.; Von Borries, O.; Matte, V. 1965. Estudio de la estructura de la masa forestal y del crecimiento de un rodal de *Cupressus lusitanica* en la Finca de San José de la Montaña, del Sr. Otto Steinworth, Barba, Costa Rica. Informe de Curso Ordenación Forestal. Turrialba, C.R., IICA. 10 p.
- Bucarey, B.J.R. 1967. El ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) como base de las reforestaciones planificadas en el Valle Central de Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, C.R., IICA. 102 p.
- Chaves, E; Fonseca, W. 1991. Ciprés (*Cupressus lusitanica*), especie de árbol de uso múltiple en América Central. Serie Técnica/Informe Técnico/CATIE No. 168. Colección de Guías Silviculturales, Guía No. 7. 66 p.
- Fassbender, H.W.; Tschinkel, H. 1974. Relación entre el crecimiento de plantaciones de *Cupressus lusitanica* y las propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Turrialba (C.R.) 24(2): 141-149.
- Fernández, I.J. 1971. Estudio de las propiedades físico-mecánicas del ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) en el valle central de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., IICA. 87 p.
- Osorio, G. 1987. Crecimiento de 20 familias de *Cupressus* de Costa Rica, Kenia, Méjico y Europa a los ocho años. Cartón de Colombia. Informe de Investigación No. 113. 4 p.
- Quirós, R. 1988. Selección de rodales semilleros de ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.). Tesis Lic. en Ciencias Forestales. Heredia ; C.R. UNA, Escuela de Ciencias Ambientales. 76 p.
- Soares, A.R. 1973. Adaptacao de nove procedencias de *Cupressus lusitanica* Mill. em Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. IICA. 76 p.
- Tschinkel, H. 1972. La clasificación de sitios y el crecimiento de *Cupressus lusitanica* en Antioquía, Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía (Col.) 27(1): 3-30.

Eucalyptus deglupta (Eucalipto deglupta)

Comentarios generales

Eucalyptus deglupta pertenece a la familia Myrtaceae. Es nativo de Las Filipinas, Islas Célebes, Nueva Bretaña y Papúa Nueva Guinea. Es una de las especies forestales de más rápido crecimiento en zonas tropicales húmedas. El fuste generalmente es de muy buena forma y libre de ramas en aproximadamente dos terceras partes de su longitud. Es una especie siempreverde y exigente de luz. Tiene poca capacidad de rebrote de tocón.

Requerimientos de clima y suelo

Esta especie se adapta a un rango amplio de temperaturas y altitudes, probablemente dependiendo de la procedencia. En América Central se planta desde el nivel del mar hasta 1100 msnm, aunque en su ámbito de distribución natural crece hasta los 1800 msnm (CATIE, 1986). La temperatura promedio anual a estas altitudes varía entre 20°C y 32°C.

E. deglupta crece bien en áreas húmedas, preferiblemente con una estación seca no mayor de tres meses. En Centroamérica, se ha plantado exitosamente en sitios con precipitaciones medias entre 2000 y 5000 mm anuales.

En su zona de distribución natural normalmente crece en aluviones a orillas de los ríos, sobre suelos húmedos, neutros o ácidos, fértiles y bien drenados. También se le encuentra en suelos derivados de cenizas volcánicas y pómez. En áreas mal drenadas desarrolla muy mala forma y el crecimiento es limitado.

En Costa Rica, *E. deglupta* ha demostrado no ser tan exigente en suelos como la literatura a veces sugiere. En general ha crecido bien en pastizales o en sitios ácidos y no muy fértiles, donde otras especies como el laurel (*Cordia alliodora*) han tenido problemas. Sin embargo, no se recomienda plantarlo en sitios excesivamente compactados, erosionados o lixiviados o sobre suelos muy arcillosos con drenaje interno deficiente.

Experiencias en Centro América

En América Central, esta especie ha sido plantada principalmente en Costa Rica, donde fue introducida por el CATIE en 1965. En general, ha presentado un crecimiento muy rápido, con incrementos medios anuales (IMA) de 2 a 4 m en altura y de 2.0 a 3.5 cm en diámetro (DAP). Los espaciamientos más usados han sido 2.5 X 2.5 m y 3 X 3 m en cuadro. Se deben efectuar a tiempo los raleos correspondientes, para favorecer el crecimiento de los mejores árboles. De esta manera se aumenta la producción de madera de aserrío y se reduce la edad de corta. El primer raleo se efectúa justo cuando cierran las copas de los árboles, eliminando los árboles más delgados y torcidos, así como los árboles enfermos. Después de los raleos, no se deben dejar los residuos como troncos y ramas, ya que esto favorece las poblaciones de termitas (comején) y otras posibles plagas.

Fuentes sugeridas de semilla

Hasta el momento no se ha identificado ninguna procedencia superior y tampoco se está produciendo semilla mejorada. El Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE está estableciendo un huerto semillero clonal con árboles plus que fueron seleccionados mediante una búsqueda cuidadosa en las plantaciones maduras existentes en Costa Rica. Se espera que este huerto empiece a producir semilla mejorada en 1995, suficiente para llenar la mayor parte o eventualmente toda la demanda en América Central. También se han establecido recientemente pruebas de progenie en diferentes lugares de Costa Rica. Estas pruebas pueden ser convertidas en huertos semilleros de plántulas una vez conocido el valor genético de las familias que se están evaluando.

En Costa Rica existen diferentes "tipos" de *E. deglupta*, probablemente debido a que se han introducido muchas procedencias. De los tipos existentes, se ha observado que el de mejor crecimiento es el que tiene la corteza del tronco verde con láminas café-morado de la corteza más madura o vieja. Hasta tanto no exista material mejorado, la semilla se debe recolectar de esta clase de árboles, cuidando también que tengan fustes rectos y limpios, sin bifurcaciones u otro tipo de defectos y libres de enfermedades. Se debe evitar recolectar semilla de árboles delgados, con corteza de apariencia café-amarillenta o café-anaranjada, los cuales han mostrado un comportamiento muy pobre.

Los árboles semilleros deben estar ubicados en la misma zona donde se pretende establecer la plantación o por lo menos en condiciones ecológicas similares. Para cada plantación la semilla debe provenir de por lo menos 15 árboles diferentes. Se debe procurar que la semilla esté bien mezclada y que los árboles aporten cantidades similares de semilla.

Usos

La madera joven (menos de 15 años) es liviana o moderadamente liviana, con una gravedad específica variable (0,27 - 0,44), con altos contenidos de humedad, por lo que es recomendable un buen sacado antes de usarla. Es fácil de aserrar, aunque la madera aserrada en el plano radial puede ser difícil de cepillar. En general, es fácil de trabajar y presenta un buen acabado (CATIE, 1986).

En Turrialba la madera proveniente de plantaciones se usa en ebanistería, produciendo muebles de excelente calidad, similares en acabado y apariencia a los que se producen con laurel (*Cordia alliodora*). También se ha utilizado para la fabricación de marcos para ventanas, puertas, artesonados y otros usos similares.

La madera de rodales naturales o de plantaciones maduras presenta una gravedad específica de 0,4 a 0,8 (Weeb, 1980). Se usa en construcciones pesadas, pisos, ebanistería, como madera en pisos de botes y acabado de embarcaciones (CATIE, 1986)

También se usa como postes de cerca y de conducción eléctrica, previamente tratados y como soportes en plantaciones de banano.

Semillas y vivero

En la vertiente atlántica de Costa Rica la recolección de semillas se realiza principalmente entre agosto y octubre. La semilla se almacena fácilmente por varios años en cámara fría de 4-5 °C con una humedad relativa de 30%, en recipientes herméticos de plástico grueso o de vidrio.

La semilla germina muy bien en arena colada bien fina, lavada y esterilizada. Se puede poner a germinar en cajas de madera de 50 x 30 X 10 cm. Para lograr una distribución pareja de la semilla en los germinadores se recomienda mezclarla con arena fina y esterilizada en una proporción de 1:10 (semilla:arena). Luego se puede usar un colador fino para distribuir la mezcla en el germinador. No se deben agregar capas adicionales de arena para tapar la semilla. El medio de germinación debe permanecer húmedo, pero no empapado. Debido a que la semilla es muy pequeña se debe utilizar riego de gota muy fina.

Dependiendo del porcentaje de germinación, se puede poner a germinar entre 1 y 2 gramos de semilla por metro cuadrado (m²) de germinador. Generalmente germinan entre unas 3000 semillas por gramo, aunque en algunos lotes pueden germinar hasta 8000 semillas por gramo. La germinación comienza al segundo o tercer día y puede extenderse por 20 días.

Es recomendable revisar diariamente los germinadores para detectar a tiempo cualquier ataque de hongos. Estos deben ser controlados inmediatamente; generalmente la aplicación de algún fungicida a base de cobre es suficiente. En ocasiones las hormigas se llevan la semilla durante la noche, por la que es recomendable aislar los germinadores usando recipientes con agua. Los germinadores deben estar en un lugar fresco, a la sombra y protegidos de la lluvia que puede enterrar o sacar la semilla o las plantitas recién germinadas. Las plantas se dejan en los germinadores hasta que alcancen entre 2 y 2.5 cm de altura. lo que ocurre de 15 a 20 días después de la germinación. Es muy importante poner mucho cuidado al momento del repique. Las plantas se deben tomar siempre por las hojas ya que el contacto de los dedos con el tallo puede quemar la planta. Las plantas se deben poner en un recipiente con agua durante el transporte de los germinadores a las bolsas. Es necesario regar abundantemente antes y después del repique, el cual se debe efectuar preferiblemente en las primeras horas de la mañana o al final de la tarde, cuando la temperatura es más favorable.

Después del repique, las plantas se deben proteger con sombra por una semana. Las plantas se deben llevar al campo cuando alcanzan 25-30 cm de altura lo que ocurre en 2-3 meses después del repique.

Factores limitantes principales

Se han reportado ataques del chancro *Diaporthe cubensis*, sin que haya significado una enfermedad peligrosa hasta ahora. También se han presentado casos de muerte regresiva (dieback), probablemente causada por un mal desarrollo del sistema radicular debido a un tiempo excesivo de permanencia del árbol en la bolsa durante la fase de vivero.

En plantaciones jóvenes han ocurrido ataques importantes de hormigas defoliadoras (zompopas), por lo que es necesario un control cuidadoso de las mismas.

Otra plaga importante de esta especie son las termitas, las cuales construyen galerías en el tronco del árbol. El ataque se da principalmente en árboles maduros, por lo que es recomendable cosecharlos entre los 10 y 15 años. La madera que se produce a estas edades es de buena calidad.

Eucalyptus grandis (grandis)

Comentarios generales

Eucalyptus grandis, un miembro de la familia Myrtaceae, es una especie nativa de la costa oriental de Australia. Es un árbol siempreverde, de porte grande y hasta gigantesco. En zonas sin estación seca prolongada, se adapta a un rango muy amplio de altitudes. En sitios apropiados, es capaz de crecer muy rápidamente, pero siempre necesita un mantenimiento meticuloso debido a su susceptibilidad a la competencia, particularmente de las gramíneas. Produce una madera moderadamente fuerte de uso general.

Requerimientos de clima y suelo

El *grandis* es apto para plantar principalmente en climas sin estación seca prolongada, con temperatura anual promedio de por lo menos 16°C y donde la temperatura del mes más caliente no pasa los 27°C (Schönau, 1985). Para América Central, esto implica un rango de altitud desde el nivel del mar hasta aproximadamente 2.000 m s.n.m. Además, en elevaciones arriba de 1.100 m s.n.m, el *grandis* es capaz de prosperar en sitios con estación seca de 5-6 meses. En zonas intermedias, como el pacífico sur de Costa Rica, se debería plantar únicamente arriba de los 300 m s.n.m. Exige un suelo profundo (<900 mm) y bien drenado; con tal que este requerimiento sea satisfecho, puede prosperar incluso en suelos ácidos y deficientes en nutrientes. No se debe plantar en zonas secas de bajura.

Experiencias en Centro América

La experiencia con *Eucalyptus grandis* en Costa Rica y Honduras (principalmente a nivel experimental) ha confirmado el potencial de la especie en un rango amplio de condiciones climáticas. El factor clave en el éxito de las plantaciones establecidos ha sido la calidad de la preparación y mantenimiento. Cuando sea posible, se debería practicar una preparación completa del sitio, incluyendo un arado y un subsolado. Sin embargo, frecuentemente, por falta de recursos y/o por la topografía del terreno disponible, tales prácticas no son posible en América Central. Una alternativa es la cultivación completa del hoyo de plantar. En este sentido se ha encontrado que el diámetro del hueco es más importante que su profundidad (Schönau, 1985). En suelos apropiados, la expansión y cultivación del hueco de plantar hasta 40-50 cm diámetro, combinada con la fertilización, normalmente producirá un incremento en crecimiento que justificaría el costo adicional, especialmente cuando se considera que, debido a la capacidad para rebrotar de la especie, solo hay que plantar una vez para varios turnos.

En los mejores sitios y con la silvicultura óptima, el crecimiento en altura de *grandis* en el primer año puede llegar a 6 m. A los cinco años en Turrialba, Costa Rica, el *grandis* alcanzó altura y d.a.p. promedio de 19,0 m y 16,5 cm respectivamente (Mesén, 1990). Lógicamente, en sitios de menor calidad, el crecimiento de la especie se verá reducida, pero aun así, el *grandis* puede sobrepasar a otras especies en el mismo sitio.

El espaciamiento más utilizado en América Central ha sido de 3m por 3m. Probablemente, los turnos más recomendables para la producción de madera de aserrió serían de 15 a 20 años.

Fuentes sugeridas de semilla

En un ensayo de especies y procedencias de *Eucalyptus* en Turrialba, Costa Rica, la procedencia Gympie (Queensland, Australia) creció más rápidamente que cualquier otra procedencia o especie (Mesén, 1990). Sin embargo, en este ensayo se incluyeron solamente dos otras procedencias de grandis. En Honduras, la procedencia Coff's Harbour (Queensland, Australia) ha mostrado un excelente comportamiento.

El Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE está desarrollando huertos semilleros de esta especie, pero todavía no se encuentran en la fase productiva. Mientras se desarrollan fuentes superiores de semillas, se pueden importar semillas de las procedencias indicadas a través del Banco Latinoamericano de Semillas Forestales (BLSF) del CATIE, o se puede recolectar de las pocas plantaciones que existen en la región.

La semilla se debe recolectar de árboles que tengan fustes rectos y limpios, sin bifurcaciones muy bajas y que estén libres de otros defectos o enfermedades. Los árboles semilleros deben estar ubicados en la misma zona donde se pretende establecer la plantación, o por lo menos en condiciones similares, especialmente en cuanto a elevación; no se debe 'mover' semilla más de 250 m de altitud. Para cada plantación, la semilla debe provenir de por lo menos 15 árboles diferentes.

Usos

La experiencia con la madera del grandis en América Central es muy limitada. Sin embargo, en Sur Africa y otros países, se utiliza la madera en la construcción de viviendas, pisos y muebles, además que para la producción de pulpa y papel y chapas. La madera es moderadamente dura y fuerte, de gravedad específica de 0,48-0,64 (Webb, 1980).

E. grandis es uno de los mejores productores de leña en tierras altas y puede ser usada también en cortinas rompevientos. En Colombia, se ha utilizado como sombra para café (Zobel *et al.* 1987).

Semillas y vivero

Puede almacenarse sin problemas para períodos de varios años. No necesita ningún tratamiento pregerminativo. Normalmente hay alrededor de 630 semillas viables por gramo. Por su tamaño, es recomendable sembrar la semilla en bandejas de germinación, para después repicarla a bolsas. El grandis crece muy rápidamente en el vivero, siendo listo para plantar a los tres meses.

Factores limitantes principales

Hasta la fecha, no se han detectado ningún factor limitante en América Central - siempre y cuando se sigue las normas recomendadas para la silvicultura de la especie. La plaga más importante en América Central son las hormigas del género *Atta* (zompopos), los cuales pueden destruir grandes áreas de plantación en muy poco tiempo. La única manera confiable para eliminar los zompopos es usando los insecticidas apropiadas (Mirex, Mirenex, *etc.*). La insecticida se debe aplicar antes de plantar.

En América del Sur, es atacada por un mal canceroso (*Diaporthe cubensis*), pero hasta la fecha dicha enfermedad no ha aparecido en América Central.

Referencias

- Mesen, J.F. 1990. Resultados de ensayos de procedencias en Costa Rica. *Serie Técnica, Informe técnico* No. 156. 40p.
- Schönau, A.P.G. 1985. Basic silviculture for the establishment of eucalypt plantations with special reference to *Eucalyptus grandis*. *South African Forestry Journal* xxx: 4-9.
- Zobel, B.J.; Wyk, G. van; Stahl, P. 1987. *Growing exotic forests*. John Wiley & Sons, xx + 508 p.

Eucalyptus saligna (Eucaiipto saligna)

Comentarios generales

Eucalyptus saligna pertenece a la familia Myrtaceae. Es nativa del sureste de Australia. Es una especie siempreverde, de excelente forma y rápido crecimiento, que puede alcanzar hasta 55 m de altura y 1,8 m de diámetro. Posee una corteza de azulada a gris verdosa, que se desprende en capas dejando expuesta una capa amarillenta. La corteza es lisa excepto en la base (hasta 7-8 m en árboles maduros) donde presenta una textura aspera. Esta especie se confunde a menudo con *E. grandis*. Se distingue de esta porque *saligna* presenta lignotubérculos, los cuales se pueden observar en el cuello de la raíz en plantas jóvenes en vivero. *Saligna* posee una buena capacidad de rebrotar por lo que es apta para manejar las plantaciones por rebrote y para desarrollar sistemas de silvicultura clonal.

Requerimientos de clima y suelo

En su área de distribución natural crece desde el nivel del mar hasta 1100 de altitud, en sitios con una temperatura promedio anual de 15° a 21°C, con un promedio máximo en la estación cálida de hasta 35°C y con precipitaciones de 800-1800 mm anuales.

Sin embargo, como exótico se ha plantado en sitios hasta de 2300 m de altitud en sitios cercanos al Ecuador. También se ha plantado en áreas tropicales con elevaciones bajas, con temperaturas medias de hasta 28°C y precipitaciones de más de 4000 mm/año.

En su área de distribución natural crece en suelos limosos o arcillosos, moderadamente fértiles, húmedos pero bien drenados. Como muchas otras especies, se desarrolla mejor en suelos fértiles, aluviales y limosos o limo arenosos. Presenta un crecimiento limitado en suelos compactados, con horizontes endurecidos y en sitios mal drenados

Experiencias en Centro América

En América Central, *E. saligna* se ha plantado principalmente entre 450 m y 1400 m de altura, en áreas con precipitaciones superiores a los 1800 mm anuales y una estación seca de cero a cinco meses, presentando, en general, un buen comportamiento. Dentro de estas condiciones ambientales, se han observado diferencias importantes de crecimiento entre plantaciones las cuales están más relacionadas con la calidad del suelo, del establecimiento y del manejo de las plantaciones que con diferencias de tipo climático.

De manera general, en la región los mejores crecimientos de *E. saligna* se han presentado en sitios húmedos con suelos no compactados, bien drenados de origen volcánico.

En sitios adecuados para la especie se han presentado crecimientos de 2,0 a 4,1 cm/año en diámetro y de 2,0 a 4,25 m/año en altura. Sin embargo, en suelos malos se presentan crecimientos inferiores a 1,0 cm/año en diámetro y 1,0 m en altura.

En Centroamérica no existe suficiente experiencia con esta especie en zonas bajas (menos de 450 msnm), ni en áreas con elevaciones mayores a 1400 msnm.

Usos

En un estudio realizado por Alcántara (1975) utilizando árboles de 8 a 12 años de edad de plantaciones de Turrialba, Costa Rica, se determinó que la madera de *E. saligna* presenta buena estabilidad dimensional, es fácil de secar, aserrar y trabajar y de buena durabilidad natural. La albura es fácil de preservar, no así el duramen.

La madera es de color anaranjado-rojizo, de grano recto, aunque a veces se presenta ligeramente entrecruzado en bandas angostas. Presenta un veteado atractivo en líneas verticales, un buen acabado final y lustre. Es moderadamente dura y pesada (0,48-0,64 g/cm³).

Se puede utilizar en carpintería en general, construcciones internas y externas, muebles de buena calidad, ebanistería, parquet, tornería, en armado de barcos, durmientes tratados de ferrocarril y para chapas y contrachapado. También se considera buena para la producción de papel.

En Australia es una de las maderas más importantes para la construcción, tanto en exteriores como en interiores, incluyendo pisos.

Debido a que desarrolla fustes rectos es utilizada para postes de cerca o de conducción eléctrica, los cuales generalmente son tratados para una mayor duración.

Es una especie con mucho potencial para la producción de leña debido a la alta producción de biomasa. En Brasil se usa como carbón para la producción de acero. *Saligna* también se utiliza como ornamental y para la producción de miel.

Semillas y vivero

En Costa Rica la fructificación de *E. saligna* es un poco irregular y se han efectuado recolecciones en casi todas las épocas del año. Sin embargo, parece que los picos de maduración de los frutos ocurren generalmente entre diciembre y mayo.

Sin embargo, debido al gran tamaño de los árboles la recolección puede resultar difícil por lo que es más recomendable y más barato obtener las semillas en los Bancos de Semillas especializados, los cuales a su vez pueden ofrecer semilla de las mejores procedencias conocidas.

La semilla de *Saligna* se almacena sin problemas por periodos de cinco años o más en cámaras frías (5°C) con una humedad relativa inferior al 40%.

El número de semillas por kilogramo es variable entre procedencias y oscila entre 350.000 y 650.000. El porcentaje de germinación normalmente es de 80-85%. Sin embargo, para efectos prácticos se puede estimar que en el germinador se obtienen

Semillas y vivero

En América Central, el pino tecunumanii produce muy poca semilla fuera de su zona de ocurrencia natural. En lugares donde no es nativo, esto constituye una limitación puesto que la semilla debe importarse.

La semilla de pino caribe se madura durante junio y julio. Para recolectar la semilla, es necesario subir los árboles para bajar los conos, los cuales deben tener color café. Estos se dejan posteriormente para secar. Al secar, los conos abren y la semilla se puede extraer fácilmente. Después de secarse, la semilla se almacena en recipientes herméticos a 4°C-5°C. En estas condiciones, mantienen su viabilidad durante muchos años.

Aunque se puede plantar el pino caribe a raíz desnuda, esta práctica no se considera aconsejable en América Central debido a las altas posibilidades de desecación. Por lo tanto, normalmente se producen las plantas en bolsa. Es mejor sembrar la semilla inicialmente en cajas de germinación en arena fina. Esta se esteriliza con formalina a 1% para prevenir el 'damping-off', un hongo que casi siempre se manifiesta si no se esteriliza. Se repica las plántulas a las bolsas normalmente después de que se boten la testa. Si se repiquen antes de que la testa se bote, esta atrae los pajaros, los cuales arrancan la plántula. Después de repicar, se debe aplicar sombra durante 2-3 semanas.

Es muy importante que las bolsas se llenen con tierra micorrizada. Esto se asegura usando como elemento en el sustrato una proporción de tierra tomada directamente de pinares (naturales o plantaciones) maduros. Las micorizas son hongos benéficos que posibilitan la nutrición adecuada del árbol, tanto en la fase de vivero como en la fase de campo.

Después de repicar, el material es listo para plantarse en 5-6 meses. Para plantar, se quita la bolsa cuidadosamente para no dañar al sistema radicular, y después se planta en hoyos no más pequeños de 20 cm diámetro por 20 cm profundidad.

Factores limitantes principales

Hasta el momento, no se han presentado factores limitantes adicionales a los mencionados.

Referencias

- Bird, N.M. 1984. Variation in volume overbark, stem straightness and longest internode length at five years of age between ten provenances of *Pinus caribaea* Morelet y *Pinus oocarpa* Schiede in Costa Rica. P. 159-164 in R.D. Barnes y G.L. Gibson (Eds.) (1984), Proceedings, Joint Work Conference of International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) Working Parties S2.02-08, S2.03-13, Mutare, Zimbabwe, 9-14 April 1984, Commonwealth Forestry Institute (G.B.), 663 p.
- Boshier, D.B.; Mesén, J.F. 1986. Proyecto de mejoramiento genético de árboles del CATIE. Estado de avance y principales resultados. Ponencia presentada al

250 plantas por gramo de semilla y estimar la cantidad necesaria de acuerdo a los metas de producción, tomando en cuenta las pérdidas por repique y las mortalidad en bancal.

Esta especie no necesita tratamiento pre-germinativo. Como medio de germinación se puede usar arena fina pura colada y desinfectada. También se puede usar una mezcla de suelo fértil y arena fina en proporción 1:1. Se recomienda el uso de germinadores de madera de 30 cm X 50 cm con 6-8 cm de profundidad.

Factores limitantes principales

Uno de los principales factores limitantes para el adecuado desarrollo de esta especie es la compactación de los suelos. Cuando el suelo ha sido compactado por sobrepastoreo u otra razón, se puede arar en su totalidad o sobre las líneas de plantación. Cuando no es posible arar, se puede hacer hoyos profundos y anchos lo cual ayuda al desarrollo de los árboles, al menos en la fase inicial.

La especie crece mal o muere en suelos mal drenados o inundables, por lo que se debe evitar este tipo de sitios.

E. saligna es muy susceptible a la competencia por malezas durante la fase de establecimiento por lo que se debe mantener limpia la plantación por lo menos hasta que los árboles ocupen el sitio, lo cual ocurre generalmente a los dos años de edad o antes.

Un factor limitante importante para el desarrollo adecuado de los Eucaliptos es el ataque de hormigas defoliadoras (zompopas), que pueden incluso matar los árboles. Su control se realiza con productos químicos comerciales, tales como "Zompex" o "Mirex".

Eucalyptus urophylla (Eucalipto urofila)

Comentarios generales

Eucalipto urofila, de la familia Mirtaceaea, es nativo de la Isla Timor y otras islas del archipiélago de Indonesia. Esta especie es poco conocida, y no se ha plantado extensivamente. Sin embargo, ha sido probado en zonas húmedas de Costa Rica, donde ha mostrado un crecimiento rápido y buena forma, lo cual le da potencial como una alternativa para reforestación en dichas zonas. Es de porte y crecimiento similares al *E. deglupta*, pero al contrario de este tiene la capacidad de rebrotar, lo que ofrece la oportunidad de obtener varias rotaciones sin necesidad de volver a establecer la plantación.

Requerimientos de clima y suelo

E. urophylla se ha probado en Costa Rica a altitudes de 300 a 600 msnm, pero puede crecer a altitudes superiores, con precipitaciones anuales de 1.100 a 3.000 mm y temperaturas medias anuales de 16 a 24°C. Desarrolla bien en suelos franco-arenosos a arcillosos, de pH neutro a ácido y de drenaje regular a bueno.

Experiencias en Centro América

La experiencia en Centro América se limita a los ensayos de procedencias establecidos por el Proyecto MGF. En Santa Clara, C.R., por ejemplo, se han obtenido crecimientos anuales en altura y dap de hasta 3,6 m y hasta 2,8 cm por año, respectivamente, lo que los hace comparables con otros eucaliptos más conocidos como el *deglupta* y el *grandis*. A los 6,5 años, y a un espaciamiento de 3 x 3 m, las mejores procedencias presentaron alturas de 24 m y diámetros de 18 cm. En este sitio se han seleccionado los mejores árboles de las mejores procedencias, y se está manejando el área como plantación semillera, la cual ya se encuentra en producción.

Fuentes sugeridas de semilla

Actualmente se puede obtener semilla de la plantación semillera establecida en Santa Clara. Una procedencia de la Isla Timor (Remexio), una de la Isla Alor (Región oeste), una de la Isla Flores (Mount Lewotobi) y una de la Isla Lembata (Región suroeste) han mostrado el mejor desarrollo en este sitio, y han sido seleccionadas para conformar la plantación semillera.

Usos

E. urophylla se utiliza para producción de madera de aserrío, postes de transmisión, leña y carbón. La madera es moderablemente durable, atractiva y fácil de trabajar.

Semillas y viveros

E. urophylla produce entre 210.000 y 300.000 semillas por Kg, y puede ser almacenada en seco y frío por varios años. La semilla no requiere tratamientos pre-germinativos, y por su tamaño tan pequeño se sugiere sembrarla en germinadores con arena esterilizada para su trasplante posterior a bolsas. La germinación ocurre entre 7 y 20 días y las plántulas alcanzan tamaños adecuados para la plantación (aproximadamente 30 cm) en 3 a 5 meses.

Factores limitantes principales

Arboles jóvenes en un ensayo de procedencias en el CATIE, Turrialba, sufrieron muerte regresiva debido al hongo *Phyllosticta eucalypti*. Aparte de este caso, no se ha observado ningún otro problema con esta especie en Costa Rica.

Gmelina arborea (Melina)

Comentarios generales

La melina pertenece a la familia Verbenaceae. Es una especie de porte grande, nativa a una gran parte del sur-este de Asia. Tiene un crecimiento rápido, se adapta bien a diferentes regímenes de precipitación y produce una madera versátil y con excelentes propiedades. Tanto en América Central como en otras regiones tropicales, la melina ha sido plantada extensivamente y frecuentemente con resultados excelentes.

Requerimientos de clima y suelo

La melina crece bien en zonas sin o con estación seca marcada, hasta los 600 m s.n.m., con precipitación de por lo menos 800 mm anuales. A nivel mundial, la experiencia ha demostrado que la melina es una especie más apta para sitios relativamente fértiles. En sitios altamente degradados, la especie tiende a desarrollar muy mala forma. Además, en algunos países, en sitios malos se han dado casos cuando, después de un crecimiento aceptable durante los primeros diez años, los árboles empiezan a sufrir una muerte regresiva de sus copas, muriéndose después o por lo menos nunca llegando a dimensiones aserrables (Greaves, 1981). Por lo tanto, puede ser aconsejable buscar otras opciones para tales sitios. Además, no se debería plantar melina en suelos inundados, ni en suelos muy arenosos.

Experiencias en Centro América

En Costa Rica se han plantado más de 6.000 ha de melina en años recientes, tanto en el vertiente pacífico como en el vertiente atlántico. La especie ha sido ampliamente plantada por pequeños y medianos productores, lo cual se debe más que todo a la facilidad de producción de plantas y establecimiento de plantaciones, el rápido crecimiento, y la excelencia del producto final.

Normalmente en Costa Rica se planta la melina a espaciamientos de 3m por 3m. Durante los primeros años, es necesario un mantenimiento meticuloso con chapias cada 3 meses durante la estación lluviosa (todo el año donde no hay estación seca). Dicho mantenimiento pueden ser suspendido únicamente cuando los árboles empiecen a suprimir la competencia, normalmente cuando tengan alrededor de 5m de altura. Posteriormente, para la producción de madera de aserrió se recomienda que se sigue la 'receta clásica' de raleos livianos pero frecuentes, con el primer raleo normalmente a los 4 a 5 años. Se esperaría que el turno para producción de madera de aserrió sería de 12 a 20 años, dependiendo del sitio.

Hughell (1991) ha proyectado incrementos medios anuales para melina en Costa Rica hasta $30,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ a los 12 años. Lógicamente, en los peores sitios, el crecimiento sería menor; para el índice de sitio 14 (es decir donde los árboles tendrían una altura promedio de 14m a los diez años) Hughell (1991) proyecta un incremento medio anual de $6,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ a los 12 años. Sin embargo, en sitios que son realmente aptos para la producción de madera de melina, se esperaría incrementos medios anuales de por lo menos $15\text{-}18 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Zobel et al. 1987), Webb, 1980).

Fuentes sugeridas de semilla

En un ensayo del Proyecto MGF en Turrialba, Costa Rica (zona de vida bosque húmedo premontano), la procedencia derivada Manila de Costa Rica demostró su superioridad a las otras procedencias ensayadas, tanto en forma como en crecimiento. Además, dicha fuente ha sido utilizada en el establecimiento de plantaciones en otras partes del país, incluyendo la zona seca, con excelentes resultados. Algunas de la plantaciones establecidas en el cantón de Hojancha, Guanacaste, han sido convertidas en rodales semilleros.

Recientemente, el Proyecto MGF del CATIE inició un programa de desarrollo de huertos semilleros y clones superiores. Sin embargo, hasta el presente no hay germoplasma mejorado disponible. Mientras se desarrolla este material, se recomienda el uso de semilla de las siguientes fuentes: para la zona del Pacífico Seco, los rodales semilleros de Hojancha, u otros rodales de la zona; para la zona atlántica: plantaciones de la misma zona; para la zona sur: plantaciones de la mismo zona. Sin embargo, estas recomendaciones no son completamente rígidas: lo importante es que la fuente usada es de la procedencia derivada de Manila. Para los demás países de América Central, no hay datos sobre procedencia. Sin embargo, se considera que la misma fuente de Manila debería ser preferido a otras fuentes desconocidas en la región.

La semilla se debe recolectar de árboles que tengan fustes rectos y limpios, sin bifurcaciones muy bajas y que estén libres de otros defectos o enfermedades.

Usos

La melina produce una madera moderadamente liviana a moderadamente pesada (los datos publicados por diferentes autores a veces no concordan, sin embargo la mayoría reportan gravedad específica en el rango 0,4-0,6). La madera es fácil de trabajar, no se deforma ni se raja, y es duradera (Greaves, 1981; Lamprecht, 1990). Es de color blanco a amarillento, y apropiado para todos usos interiores y exteriores, así como para chapas y para la fabricación de pulpa de papel. En Costa Rica, se está usando en la construcción de un rango amplio de productos, incluyendo muebles y tablilla y puertas de clósetes. También la melina es un excelente productor de leña (NAS 1980).

En sitios de muy baja fertilidad, la melina se ha demostrado su capacidad de mejorar suelos. Sánchez et al. (1984) informó sobre un aumento dramático en contenidos de calcio y fósforo y un baja sensible en acidez en ultisoles en Amazonas en rodales maduros de melina en comparación con la cobertura boscosa natural.

Semillas y vivero

El fruto de melina es una drupa carnosa. En cada drupa, hay un endocarpo duro. Cada endocarpo tiene 1-4 semillas. Sin embargo, no es práctico extraer estas, razón por la cual se siembran en vivero el mismo endocarpo. De cada endocarpo, pueden germinarse hasta cuatro (pero normalment i-3) plántulas.

El número promedio por kilo de los endocarpos de 20 árboles de melina recolectados por el proyecto MGF en 1991 fue 1700 (rango desde 900 por kilo hasta 2400 por kilo).

La manera más fácil y barata de recolectar frutos de melina es del piso. En este caso, es importante recolectar únicamente los frutos recién caídos, ya que el proceso de pudrición de la pulpa afecta la germinación y facilidad de almacenar de la semilla. Si se recolecta en rodales que no son rodales semilleros, es importante recolectar

únicamente a los pies de los mejores árboles; incluso, es factible talar árboles muy malos que se encuentran cercos y también limpiar el piso alrededor del árbol para facilitar la colecta. Alternativamente, se puede escalar los árboles seleccionados si se dispone del equipo necesario.

Después de la colecta, hay que despulpar el fruto. Con cantidades grandes, se puede usar un despulpadora de café modificada. Con cantidades más pequeñas, esta operación se puede hacer a mano. Posteriormente, se secan los endocarpos. No es aconsejable colocarlos en el sol para secar, puesto que se pueden dañar. Se deberían colocar en la sombra, en capas delgadas en bandejas hechas con tela metálica para que pueda circular el aire, removiéndolas frecuentemente. Normalmente, los endocarpos serían suficientemente secos en tres a cuatro días. Posteriormente se colocan los endocarpos secos en un recipiente hermético (por ejemplo, una bolsa plástica gruesa, incluso dentro de otra bolsa plástica), el cual se deposita idealmente en un cuarto frío a 3°C-5°C. En estas condiciones, en el CATIE se ha almacenada semilla de melina exitosamente por hasta 4 años.

Antes de sembrar, se colocan los endocarpos en agua corriente durante cuatro días. No es necesario exponerlos al sol. Sin este tratamiento pregerminativo, la germinación es más lenta, más baja, y menos pareja..

La melina puede ser producida en bolsa, sembrando directo a la bolsa. Sin embargo, en Costa Rica normalmente se produce como pseudoestaca, método de producción que, al igual que en otras especies, ofrece importantes ventajas económicas. En Hojancha, Guanacaste, los endocarpos se siembran directamente a una densidad de 20 x 20 cm en un sitio arado, rastreado y tratado con una insecticida apropiado (por ejemplo, Counter). La siembra se efectúa en mayo, al inicio de la estación lluviosa, de manera que a finales de la misma, las plántulas están suficientemente desarrollados para tolerar la época seca sin riego. Al empezar las lluvias nuevamente, se sacan las plántulas usando palas afiladas y se preparan las pseudoestacas, cortando el tallo y las raíces a 10 y 20 cm del cuello de la raíz, respectivamente.

Puesto que cada endocarpo puede producir más de una plántula, es necesario efectuar un repique, tanto para producción en bolsas como para producción de pseudoestacas. Esta operación se debe realizar antes de que la plántula produzca su segundo par de hojas. Después del repique, hay que aplicar sombra durante dos semanas.

Factores limitantes principales

La melina no se debería plantar en terrenos muy parados. En tales situaciones, particularmente en zonas estacionalmente secas, la especie puede ocasionar la erosión. Esto se da porque la melina echa una sombra densa que elimina casi por completo la vegetación. Después, en fuertes lluvias, el agua cae en chorros, los cuales pueden llevar grandes cantidades de suelo cuesta abajo.

En América Central, la única plaga de importancia de la melina hasta el momento ha sido las hormigas cortadores de hojas (*Atta spp.*), conocidas comúnmente como zompopos. Particularmente en el vivero y en los primeros años de plantación, es muy importante buscar los zompoperos cercanos y eliminarlos.

Referencias

- GREAVES, A. 1981. *Gmelina arborea*. Forestry Abstracts (G.B.), 42(6):237-258.
HUGHELL, D. 1991. Modelo preliminar para la predicción del rendimiento de *Gmelina arborea* Roxb. en América Central. CENTRO AGRONÓMICO

- TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA (CATIE) (C.R.).
Silvoenergia no. 44. 4p.
- LAMPRECHT, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Trad. por Antonio Carrillo.
Eschborn, Alemania, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
(GTZ). 335 p.
- NAS (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES) (EE.UU.). 1980. Firewood crops.
Washington, D.C. (EE.UU.), National Academy of Sciences. 236 p.
- SANCHEZ, P.A.; PALM, C.A.; SZOTT, L.T.; DAVEY, C.B. 1985. Tree crops as
soil improvers in the humid tropics? *In* Attributes of trees as crop plants. Ed.
por M.G.R. Cannell y J.E. Jackson. Penicuik, Midlothian, G.B., Institute of
Terrestrial Ecology, 592 p.
- WEBB, D.B. 1980. Guía y clave para seleccionar especies en ensayos forestales de
regiones tropicales y subtropicales. London, G.B., Overseas Development
Administration, 275 p.
- ZOBEL, B.J.; WYCK, G. VAN; STAHL, P. 1987. Growing exotic forests. New
York, EE.UU., John Wiley. 508 p.

*Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.
Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica,
Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533*

Pinus caribaea var. *hondurensis* (Pino hondureño)

Comentarios generales

El *Pinus caribaea* var. *hondurensis* pertenece a la familia Pinaceae. Esta variedad del pino caribe ocurre en forma discontinua desde el norte de Belice hasta el sur de Nicaragua, básicamente en sitios con suelos ácidos e infértiles hasta los 900 m s.n.m., siempre y cuando estos son afectados periódicamente por incendios. La precipitación en el rango natural es variable: desde menos de 400 mm con 11 meses secos (Texiguat, Honduras) hasta 3900 mm anuales en el sur de Nicaragua con un mes seco.

El pino caribe es una de las especies forestales más plantadas del mundo, debido sobre todo a su capacidad de producir, en sitios marginales para la agricultura, una madera versátil y de excelentes propiedades.

En América Central, el pino caribe produce muy poca semilla fuera de su zona de ocurrencia natural. En Costa Rica, El Salvador y Panamá, donde no es nativo, esto constituye una limitación puesto que la semilla debe importarse.

Requerimientos de clima y suelo

Al igual que muchas especies forestales, el rango de distribución natural del pino caribe no se puede usar para definir donde se puede plantar la especie exitosamente. En América Central, puede ser plantada con éxito no solamente en su rango de distribución natural sino también en sitios donde no crece naturalmente. La especie es apta para plantaciones en toda América Central hasta los 600 m s.n.m., siempre y cuando se escoge correctamente la procedencia a usar. Es una especie especialmente útil en sitios altamente infértiles y ácidos donde pocas otras especies pueden medrar. Sin embargo, no tolera condiciones pantanosas.

Experiencias en Centro América

La experiencia con plantaciones del pino caribe en América Central ha sido poca, y principalmente limitada a Costa Rica. En dicho país se han establecido un gran cantidad de parcelas pequeñas, las cuales por lo general han mostrado un crecimiento aceptable. Sin embargo, normalmente el manejo ha sido deficiente o ausente y, como consecuencia, existe poca información sobre la verdadera potencial para producción de estas parcelas. Rojas y Ortiz (1991) comentan que tales rodales en sitios promedios pueden llegar a los 14 años a 333 m³ ha⁻¹ con corteza (23,8 m³ ha⁻¹ año⁻¹). Estos datos coinciden con los datos de otras regiones. Según Lamb (1973), en una gran variedad de sitios la especie es capaz de producir 17,5 m³ ha⁻¹ año⁻¹ a 21 m³ ha⁻¹ año⁻¹ sin corteza hasta la edad de 15 años. Para la producción de madera de aserrió, es probable que los turnos sean de por lo menos 25 años.

En zonas sin o casi sin estación seca, es común observar 'colas de zorro'. Con este tipo de crecimiento, el eje principal crece extramadadamente rápidamente sin ramificarse. Las hojas crecen directamente sobre el tallo principal. Las colas de zorro son indeseables porque la madera tiene propiedades mecánicas muy inferiores. Como consecuencia, su uso se ve dificultado y, además, el árbol pueden quebrarse. Sin embargo, una proporción de los árboles con cola de zorro vuelven posteriormente al crecimiento normal. Los que nunca recuperan deben ser eliminados en raleos.

Fuentes sugeridas de semilla

Según Zobel *et al.* (1987), 'uno de los errores más serios con el uso operacional del *Pinus caribaea* es ignorar la selección de la procedencia que se usa, la cual ha dado origen a varias plantaciones malas'. Este comentario aplica tanto a América Central como al resto del mundo. En general, las procedencias Guanaja (Honduras), Santa Clara, Pinar y Alimacamba (Nicaragua) han dado indicaciones de ser las más productivas productivas, mientras las procedencias Santos (Belice), Río Coco (Nicaragua) y Los Limones (Honduras) parecen ser de baja productividad (Bird, 1984; Boshier y Mesén, 1986; Cornelius y Ponce, 1990; Crockford, 1990; Eisemann *et al.*, 1984; Gibson *et al.*, 1986). La escogencia de la procedencia correcta es especialmente importante en la bajura del Pacífico Seco. Con base en un ensayo de procedencia del proyecto MGF del CATIE en Guanacaste, Costa Rica, se recomienda el uso de la procedencia Guanaja en dicha zona. Según Crockford (1990) no hay diferencias importantes en forma entre las procedencias de mayor productividad.

En los países que quedan fuera del rango natural de la especie, es necesario importar semilla. En los países donde el pino caribe es nativo, prácticamente no se planta pino; sin embargo, en caso que se plantara, siempre se debería buscar semilla de estas mismas procedencias. Semilla de pino caribe se consigue fácilmente a través de los bancos de semillas forestales nacionales. También, en Costa Rica se puede importar semilla a través de Banco Latinoamerican de Semillas Forestales del CATIE.

Usos

La madera del pino caribe de plantaciones es moderadamente liviana a moderadamente pesada (aproximadamente 0,4-0,5). Es adecuada para una gran variedad de usos, tales como construcción liviana, muebles, postes de transmisión, pulpa para papel, leña. Se seca fácilmente y es fácil de trabajar. La madera no es duradera, pero es fácil de tratar.

Es importante destacar que, al igual que muchas coníferas, la madera juvenil del pino caribe tiene propiedades muy inferiores a la madera madura. En plantaciones de rápido crecimiento, esto significa que puede darse que algunos árboles pueden llegar a tamaño aserrable mientras todavía tienen una alta proporción de madera juvenil. Tales árboles no producirán madera de muy buena calidad. La madera está influida también por la presencia o no presencia de una época seca marcada. Cuando hay una época seca marcada, la especie entra en una fase de producción de madera de mayor densidad y calidad ('madera de verano'). Al contrario, en climas casi sin déficit hídrico, la especie produce continuamente una madera más liviana de propiedades menos favorables. Es de esperar, por lo tanto, que la madera producida en zonas húmedas sea de menor calidad que la madera producida en zonas con época seca. Esto ha sido confirmada en Costa Rica (Rojas y Ortíz, 1991). La debilidad relativa de la madera de zonas húmedas se debe tomar en cuenta en su uso posterior.

Semillas y vivero

La semilla de pino caribe se madura durante junio y julio. Para recolectar la semilla, es necesario subir los árboles para bajar los conos, los cuales deben tener color café. Estos se dejan posteriormente para secar. Al secar, los conos abren y la semilla se puede extraer fácilmente. Después de secarse, la semilla se almacena en recipientes herméticos a 4°C-5°C. En estas condiciones, mantienen su viabilidad durante muchos años.

Aunque se puede plantar el pino caribe a raíz desnuda, esta práctica no se considera aconsejable en América Central debido a las altas posibilidades de desecación.

Por lo tanto, normalmente se producen las plantas en bolsa. Es mejor sembrar la semilla inicialmente en cajas de germinación en arena fina. Esta se esteriliza con formalina a 1% para prevenir el 'damping-off', un hongo que casi siempre se manifiesta si no se esteriliza. Se repica las plántulas a las bolsas normalmente después de que se boten la testa. Si se repiquen antes de que la testa se bote, esta atrae los pajaros, los cuales arrancan la plántula. Después de repicar, se debe aplicar sombra durante 2-3 semanas.

Es muy importante que las bolsas se llenen con tierra micorrizada. Esto se asegura usando como elemento en el sustrato una proporción de tierra tomada directamente de pinares (naturales o plantaciones) maduros. Las micorizas son hongos benéficos que posibilitan la nutrición adecuada del árbol, tanto en la fase de vivero como en la fase de campo.

Después de repicar, el material es listo para plantarse en 5-6 meses. Para plantar, se quita la bolsa cuidadosamente para no dañar al sistema radicular, y después se planta en hoyos no más pequeños de 20 cm diámetro por 20 cm profundidad.

Factores limitantes principales

Hasta el momento, no se han presentado factores limitantes adicionales a los mencionados.

Referencias

- Bird, N.M. 1984. Variation in volume overbark, stem straightness and longest internode length at five years of age between ten provenances of *Pinus caribaea* Morelet y *Pinus oocarpa* Schiede in Costa Rica. P. 159-164 in R.D. Barnes y G.L. Gibson (Eds.) (1984), Proceedings, Joint Work Conference of International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) Working Parties S2.02-08, S2.03-13, Mutare, Zimbabwe, 9-14 April 1984, Commonwealth Forestry Institute (G.B.), 663 p.
- Boshier, D.B.; Mesén, J.F. 1986. Proyecto de mejoramiento genético de árboles del CATIE. Estado de avance y principales resultados. Ponencia presentada al Primer Congreso Forestal Nacional, San José (C.R.), 10-14 de noviembre de 1986.
- Cornelius, J.P.; Ponce, E.G. 1990. Provenance trials of *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* (Senc.) Barr. and Golf. and *P. oocarpa* Schiede in the Republic of Honduras. Commonwealth Forestry Review (G.B.) 69(3):227-246.
- Crockford, K.J. 1990. Evaluation of tropical pine provenance and progeny tests. Final Report. Oxford Forestry Institute (G.B.). 136 p.
- Eisemann, R.L.; Nikles, D.G.; Newton, R.S. 1984. The provenance question in Queensland plantings of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. P. 211-213 in R.D. Barnes y G.L. Gibson (Eds.) (1984), Proceedings, Joint Work Conference of International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) Working Parties S2.02-08, S2.03-13, Mutare, Zimbabwe, 9-14 April 1984, Commonwealth Forestry Institute (G.B.), 663 p.

- Gibson, G.L.; Barnes, R.D.; Berrington, J. 1983. Provenance productivity in *Pinus caribaea* and its interaction with environment. *Commonw. For. Rev. (G.B.)*, 62(2):93-106.
- Lamb, A.F.A. 1973. *Pinus caribaea* Volume I. Commonwealth Forestry Institute (Oxford, G.B.), Tropical Forestry Papers Nº. 6, 254 p.
- Rojas, F.; Ortíz, E. 1991. Pino caribe. Centro Agronómico Tropical de Investigación, Serie Técnica, Informe Técnico No. 175. 59 p.
- Zobel, B.J.; Wyk, G. van; Stahl, P. 1987. Growing exotic forests. John Wiley & Sons, xx + 508 p.

Pinus tecunumanii (Pino tecunumani, Pino rojo)

Comentarios generales

Pinus tecunumanii pertenece a la familia Pinaceae. Esta especie ha sido confundida en el pasado con *P. oocarpa*. Algunos taxónomos también consideran que es una subespecie de *P. patula* (*P. patula ssp. tecunumanii*) (Styles, 1985). Se recomienda usar en la práctica el nombre *P. tecunumanii* para evitar confusiones con cualquier otra especie o taxón. Este pino habita naturalmente en áreas montañosas desde el sur de México hasta el norte de Nicaragua. Ocurre también una población aislada en Mountain Pine Ridge, Belice.

El pino tecunumani es una de las especies forestales de más rápido crecimiento en sitios marginales, ácidos y de baja fertilidad, donde otras especies forestales no tienen éxito.

Requerimientos de clima y suelo

Esta especie se adapta a un rango amplio de condiciones ambientales. En su zona de distribución natural se le encuentra en sitios con elevaciones de 600 a 2600 msnm.

En su zona de distribución natural normalmente crece en aluviones a orillas de los ríos, sobre suelos húmedos, neutros o ácidos, fértiles y bien drenados. También se le encuentra en suelos derivados de cenizas volcánicas y pómez. En áreas mal drenadas desarrolla muy mala forma y el crecimiento es limitado.

En América Central se planta desde el nivel del mar hasta 1100 msnm, aunque en su ámbito de distribución natural crece hasta los 1800 msnm (CATIE, 1986). La temperatura promedio anual a estas altitudes varía entre 20°C y 32°C.

Experiencias en Centro América

La experiencia con plantaciones del pino caribe en América Central ha sido poca, y principalmente limitada a Costa Rica. En dicho país se han establecido un gran cantidad de parcelas pequeñas, las cuales por lo general han mostrado un crecimiento aceptable. Sin embargo, normalmente el manejo ha sido deficiente o ausente y, como consecuencia, existe poca información sobre la verdadera potencial para producción de estas parcelas. Rojas y Ortiz (1991) comentan que tales rodales en sitios promedios pueden llegar a los 14 años a 333 m³ ha⁻¹ con corteza (23,8 m³ ha⁻¹ año⁻¹).

Estos datos coinciden con los datos de otras regiones. Según Lamb (1973), en una gran variedad de sitios la especie es capaz de producir 17,5 m³ ha⁻¹ año⁻¹ a 21 m³ ha⁻¹ año⁻¹ sin corteza hasta la edad de 15 años. Para la producción de madera de aserrió, es probable que los turnos sean de por lo menos 25 años.

En zonas sin o casi sin estación seca, es común observar 'colas de zorro'. Con este tipo de crecimiento, el eje principal crece extramadamente rápidamente sin ramificarse. Las hojas crecen directamente sobre el tallo principal. Las colas de zorro

son indeseables porque la madera tiene propiedades mecánicas muy inferiores. Como consecuencia, su uso se ve dificultado y, además, el árbol pueden quebrarse. Sin embargo, una proporción de los árboles con cola de zorro vuelven posteriormente al crecimiento normal. Los que nunca recuperan deben ser eliminados en raleos.

Fuentes sugeridas de semilla

Según Zobel *et al.* (1987), 'uno de los errores más serios con el uso operacional del *Pinus caribaea* es ignorar la selección de la procedencia que se usa, la cual ha dado origen a varias plantaciones malas'. Este comentario aplica tanto a América Central como al resto del mundo. En general, las procedencias Guanaja (Honduras), Santa Clara, Pinar y Alimacamba (Nicaragua) han dado indicaciones de ser las más productivas productivas, mientras las procedencias Santos (Belice), Río Coco (Nicaragua) y Los Limones (Honduras) parecen ser de baja productividad (Bird, 1984; Boshier y Mesén, 1986; Cornelius y Ponce, 1990; Crockford, 1990; Eisemann *et al.*, 1984; Gibson *et al.*, 1986). La escogencia de la procedencia correcta es especialmente importante en la bajura del Pacífico Seco. Con base en un ensayo de procedencia del proyecto MGF del CATIE en Guanacaste, Costa Rica, se recomienda el uso de la procedencia Guanaja en dicha zona. Según Crockford (1990) no hay diferencias importantes en forma entre las procedencias de mayor productividad.

En los países que quedan afuera del rango natural de la especie, es necesario importar semilla. En los países donde el pino caribe es nativo, prácticamente no se planta pino; sin embargo, en caso que se plantara, siempre se debería buscar semilla de estas mismas procedencias. Semilla de pino caribe se consigue fácilmente a través de los bancos de semillas forestales nacionales. También, en Costa Rica se puede importar semilla a través de Banco Latinoamerican de Semillas Forestales del CATIE.

Usos

La madera del pino caribe de plantaciones es moderadamente liviana a moderadamente pesada (aproximadamente 0,4-0,5). Es adecuada para una gran variedad de usos, tales como construcción liviana, muebles, postes de transmisión, pulpa para papel, leña. Se seca fácilmente y es fácil de trabajar. La madera no es duradera, pero es fácil de tratar.

Es importante destacar que, al igual que muchas coníferas, la madera juvenil del pino caribe tiene propiedades muy inferiores a la madera madura. En plantaciones de rápido crecimiento, esto significa que puede darse que algunos árboles pueden llegar a tamaño aserrable mientras todavía tienen una alta proporción de madera juvenil. Tales árboles no producirán madera de muy buena calidad. La madera está influida también por la presencia o no presencia de una época seca marcada. Cuando hay una época seca marcada, la especie entra en una fase de producción de madera de mayor densidad y calidad ('madera de verano'). Al contrario, en climas casi sin déficit hídrico, la especie produce continuamente una madera más liviana de propiedades menos favorables. Es de esperar, por lo tanto, que la madera producida en zonas húmedas sea de menor calidad que la madera producida en zonas con época seca. Esto ha sido confirmada en Costa Rica (Rojas y Ortíz, 1991). La debilidad relativa de la madera de zonas húmedas se debe tomar en cuenta en su uso posterior.

- Primer Congreso Forestal Nacional, San José (C.R.), 10-14 de noviembre de 1986.
- Cornelius, J.P.; Ponce, E.G. 1990. Provenance trials of *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* (Sencl.) Barr. and Golf. and *P. oocarpa* Schiede in the Republic of Honduras. Commonwealth Forestry Review (G.B.) 69(3):227-246.
- Crockford, K.J. 1990. Evaluation of tropical pine provenance and progeny tests. Final Report. Oxford Forestry Institute (G.B.). 136 p.
- Eisemann, R.L.; Nikles, D.G.; Newton, R.S. 1984. The provenance question in Queensland plantings of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. P. 211-213 in R.D. Barnes y G.L. Gibson (Eds.) (1984), Proceedings, Joint Work Conference of International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) Working Parties S2.02-08, S2.03-13, Mutare, Zimbabwe, 9-14 April 1984, Commonwealth Forestry Institute (G.B.), 663 p.
- Gibson, G.L.; Barnes, R.D.; Berrington, J. 1983. Provenance productivity in *Pinus caribaea* and its interaction with environment. Commonw. For. Rev. (G.B.), 62(2):93-106.
- Lamb, A.F.A. 1973. *Pinus caribaea* Volume I. Commonwealth Forestry Institute (Oxford, G.B.), Tropical Forestry Papers N°. 6, 254 p.
- Rojas, F.; Ortíz, E. 1991. Pino caribe. Centro Agronómico Tropical de Investigación, Serie Técnica, Informe Técnico No. 175. 59 p.
- Zobel, B.J.; Wyk, G. van; Stahl, P. 1987. Growing exotic forests. John Wiley & Sons, xx + 508 p.

Swietenia macrophylla (Caoba)

Comentarios generales

La caoba, de la familia de las Meliáceas, crece en forma natural desde México hasta Brasil y Bolivia. Su madera es de excelente calidad para trabajos finos, lo cual ha llevado a la sobreexplotación y la extinción de muchas poblaciones a lo largo de su rango natural. En Costa Rica sólo es posible encontrar árboles aislados, generalmente de mala forma. Los intentos de reforestación con caoba generalmente han fracasado debido al ataque del barrenador de las Meliáceas (*Hypsipyla grandella*), el cual barrena el ápice y provoca la bifurcación y ramificación excesiva del fuste. Al presente, parece que la única opción para plantar esta especie es utilizando espaciamentos amplios, en combinación con cultivos y otras especies forestales y bajo sistemas silviculturales intensivos que aceleren el crecimiento inicial.

Requerimientos de clima y suelo

La caoba es una especie versátil que crece a altitudes de 50 a 1400 msnm, tanto en climas secos como húmedos (1250-4000 mm de precipitación), con temperaturas de 23 a 28 °C. Requiere suelos francos-arcillosos o arcillosos, con pH neutros a alcalinos y buen drenaje.

Experiencias en Centro América

La experiencia con esta especie en Centro América es muy limitada debido al problema mencionado al inicio, lo cual ha restringido su uso a nivel operacional. Las investigaciones con caoba han estado paralizadas por más de 20 años, ante la imposibilidad de encontrar métodos efectivos y económicos de control del barrenador. En 1990, el Proyecto MGF retomó las actividades de investigación con esta especie, estudiando la posible ocurrencia de tolerancia natural y la eventual clonación de genotipos tolerantes. Se han realizado colecciones por progenie en Costa Rica, Honduras, Trinidad y Tobago y California, y se han establecido pruebas genéticas en el CATIE y en el CIBC (Trinidad y Tobago). Asimismo, se ha desarrollado una técnica sencilla y efectiva para la propagación vegetativa de la caoba a través de estacas juveniles.

La caoba alcanza alturas de 30 a 40 m, es exigente a la luz aunque tolera la sombra cuando joven. Normalmente se planta a espaciamentos amplios, mezclada con otros cultivos perennes, y puede producir de 7 a 11 m³ ha⁻¹ año⁻¹.

*Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.
Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica,
Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533*

Fuentes sugeridas de semilla

Los primeros ensayos de procedencias y progenies son aún jóvenes, así que no es posible brindar recomendaciones sobre fuentes de semilla o clones. Se espera que en el transcurso de los próximos años se obtenga más información al respecto. La prioridad en las investigaciones es la determinación de la posible ocurrencia de inmunidad natural hacia el ataque del barrenador, así como las bases de la recuperación al ataque. Si estas investigaciones son exitosas, se espera iniciar un programa de clonación de genotipos tolerantes.

La semilla se debe recolectar de árboles que tengan fustes rectos y limpios, sin bifurcaciones muy bajas y que estén libres de otros defectos o enfermedades. Los árboles semilleros deben estar ubicados en la misma zona donde se pretende establecer la plantación, o por lo menos en condiciones similares, especialmente en cuanto a elevación; no se debe 'mover' semilla más de 250 m de altitud. Para cada plantación, la semilla debe provenir de por lo menos 15 árboles diferentes.

Usos

La caoba produce madera valiosa de excelente calidad, moderadamente durable, con densidad de 0,51 a 0,56, fácil de trabajar y sin problemas de secado. Se utiliza para construcción en general, ebanistería fina, fabricación de barcos y enchapados.

Semillas y vivero

El fruto de la caoba madura entre diciembre y enero en Costa Rica; hay entre 40 y 50 semillas por fruto y entre 1800 y 2500 semillas por Kg. El almacenaje en seco y frío mantiene la viabilidad hasta por un año. No es necesario realizar tratamientos pre-germinativos a la semilla, y la germinación ocurre aproximadamente entre 14 y 30 días. Se puede plantar en bolsa o directamente en eras (para la producción de plantas deshojadas), preferiblemente con sombra inicial. Las plántulas alcanzan alturas adecuadas para la plantación (aproximadamente 30 cm) en 6 a 12 meses. Actualmente es posible obtener semilla por encargo de los bancos de semillas de ESNACIFOR, Honduras o CIBC, Trinidad y Tobago.

Factores limitantes principales

Como ya se mencionó, el barrenador del brote (*Hypsipyla grandella*) provoca los mayores daños, tanto a nivel de vivero como de plantaciones jóvenes, y ha prevenido el establecimiento de plantaciones puras a lo largo de los trópicos. Al presente, parece que la única opción para cultivar esta especie es mediante sistemas intensivos de manejo, en asocio con otros cultivos, que aceleren el crecimiento inicial de los árboles y sobrepasen rápidamente la etapa de mayor susceptibilidad al ataque.

Esta es una hoja de la serie: 'Información básica sobre las especies del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE'.

Para mayor información, contactar con los técnicos del Proyecto MGF, CATIE, Turrialba, Costa Rica,

Teléfono 56-6431 ext. 379, Fax 56-1533

5. MISCELANEO

NOMBRE CIENTIFICO DEL POCHOTE: UNA RESEÑA HISTORICA

Jonathan Cornelius^{1/}

INTRODUCCION

Recientemente se ha generalizado una confusión entre técnicos forestales de América Central sobre el nombre científico correcto de la especie conocida como cedro espino, pochote, ceiba roja o saqui-saqui. En esta reseña, se pretenden explicar las razones de esta polémica y a la vez, aclarar por qué se recomienda el uso del nombre científico *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand.

EL GENERO LINNEO DE *Bombax*

El género *Bombax* fue descrito originalmente por Linneo en 1753 (Dugand, 1943), y comprendía tres especies: *Bombax ceiba*, *Bombax pentandrum*, y *Bombax religiosa*. Las dos últimas fueron reclasificadas posteriormente como *Ceiba pentandra* (Linnaeus) Gaetner y *Cochlospermum religiosum* (Linnaeus) respectivamente (Dugand, 1943; Nicholson, 1979), dejando así a *Bombax ceiba* como el tipo del género.

LA PRIMERA DESCRIPCION DE *Bombacopsis quinata*, Y LA RECLASIFICACION DE LAS ESPECIES CENTROAMERICANAS DE *Bombax* (SENTIDO LINNEO)

La historia del género Linneo de *Bombax* es relevante porque la especie conocida actualmente como *Bombacopsis quinata* fue descrita originalmente por Nicolaus von Jacquin en 1760, con base en una muestra que recolectó en Cartagena, Colombia (Dugand, 1943). Von Jacquin describió la especie como *Bombax quinatum* Jacq..

Desafortunadamente, la descripción efectuada por Linneo de *Bombax ceiba* no fue precisa y como consecuencia, surgió una polémica sobre su identidad, es decir, que no estaba claro a cuál especie correspondía este nombre científico. Dugand (1943) sostuvo que *Bombax ceiba* era sinónimo de *Bombax quinatum*, mientras Robyns (1961) consideraba que correspondía a una especie asiática, opinión aceptada implícita o explícitamente por otros botánicos (Johnston, 1949; Nicholson, 1979; Stevens, 1987; Steyermark y Stevens, 1988). Actualmente, *Bombax* se restringe únicamente a África y Asia, mientras las especies centroamericanas incluidas en *Bombax* en el sentido de Linneo, se clasifican en los géneros *Bombacopsis*, *Pachira* y *Pseudobombax* (Robyns, 1963).

^{1/} ODA Technical Cooperation Officer, Proyecto MGF, CATIE, Turrialba 7170, Costa Rica

ORIGEN DEL NOMBRE *Bombacopsis quinata*

Bombax quinatum fue reclasificada en 1853 por Seeman como *Pachira fendleri* Seem. Sin embargo, Pittier creó en 1916 (Dugand, 1938; Stevens, 1987) el género *Bombacopsis* Pittier, como "un nuevo género centroamericano entre *Bombax* y *Pachira*", y reclasificó el pochote como *Bombacopsis fendleri* (Seem.) Pitt. Dugand (1938) estableció la sinonimia de *Pachira fendleri* y *Bombax quinatum*, por lo cual hizo la nueva combinación con el epíteto específico original *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand.

Bombacopsis o *Pochota*

El género *Pochota* Ramírez Goyena es un sinónimo de *Bombacopsis* Pitt. Lo describió el nicaragüense Miguel Ramírez Goyena en 1909 con base en una muestra que denominó *Pochota vulgaris* Ramírez Goyena (Stevens, 1987). Stevens (1987) demostró claramente que *Pochota vulgaris* es sinónimo de la especie *Bombacopsis quinata*, y estableció la prioridad del nombre genérico *Pochota* sobre *Bombacopsis*, es decir que *Pochota* Ramírez Goyena fue el primer nombre legítimo del género. Sin embargo, reconociendo la sinonimia de *Pochota vulgaris* y *Bombax quinatum*, hizo la nueva combinación de *Pochota quinata* (Jacq.) W.D. Stevens.

El concepto de la prioridad -antigüedad de la descripción- es uno de los principios fundamentales de la nomenclatura botánica (International Code of Botanical Nomenclature, 1961). Sin embargo, cuando su aplicación estricta pudiera resultar en cambios indeseables en los nombres científicos actualmente en uso, el Código permite que estos sean *conservados*, es decir aceptados como los nombres científicos correctos. El nombre genérico *Bombacopsis* fue propuesto al Comité de Nomenclatura de la Asociación Internacional para Taxonomía Botánica, dos veces en los años sesenta (Robyns, 1964; Robyns, 1967) y en ambas ocasiones fue rechazado (McVaugh, 1967; McVaugh, 1968). Después del artículo de Stevens (1987), fue propuesto nuevamente por Nicolson y Robyns (1987). Ellos reconocieron la prioridad de *Pochota*, pero sostuvieron que para conservar la estabilidad de la nomenclatura (a pesar de su prioridad, el nombre *Pochota* ha sido poco usado), era mejor usar *Bombacopsis*. En mayo de 1991, el Comité de Nomenclatura de Espermatophyta publicó su decisión (Brummitt, 1991). El Comité aceptó la propuesta y recomendó la conservación del nombre genérico *Bombacopsis*. Cuando el Comité General de Nomenclatura acepta una recomendación del Comité de Espermatophyta, entonces autoriza el uso del nombre conservado. Hasta la fecha, no se ha publicado la decisión del Comité General; sin embargo, se considera que esto es meramente una formalidad, y por lo tanto en el Proyecto MGF del CATIE hemos decidido utilizar y recomendar el uso del nombre *Bombacopsis quinata*.

Quinata o *quinatum*

La forma correcta del epíteto específico es una cuestión tanto gramatical como botánica; *quinata* y *quinatum* son entonces la forma femenina y neutra, respectivamente, del mismo epíteto. Según el Código Internacional de Nomenclatura Botánica, el epíteto específico debe concordar con la forma genérica gramatical del género. *Bombax* se consideraba como una palabra neutra (aunque Linneo no fue consistente, describiendo *B. pentandrum* y *B.*

religiosa, Nicolson, 1979), de ahí *Bombax quinatum*, *Bombax costatum*, *Bombax albidum*, etc., mientras *Bombacopsis* siempre se ha considerado como palabra femenina, de ahí *Bombacopsis retusa*, *Bombacopsis glabra* y también *Bombacopsis quinata*.

CONCLUSION

En artículos científicos y técnicos, se recomienda usar el nombre científico correcto, es decir *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand. A nivel de extensión, se recomienda su uso junto con el nombre común correspondiente. Es importante usar el nombre común apropiado en cada lugar, porque estos cambian de un país a otro (ver Dvorak, 1991) y, además, 'pochote' en el sur de Honduras se emplea para *Celba aesculifolia*.

LITERATURA CITADA

- BRUMMITT, R.K. 1991. Report of the Committee for Spermatophyta 31. *Taxon* (Holanda) 39(2):295.
- DUGAND, A. 1938. Sobre la denominación de tres Bombacáceas de la costa caribe. *Contr. Hist. Nat. Colomb.* 1:1-6.
- DUGAND, A. 1943. Revalidación de *Bombax Ceiba* L. como especie típica del género *Bombax* L. y descripción de *Pseudobombax* Gen. Nov. *Caldasia* (Col.) 2:47-68.
- DVORAK, W.S.; DONAHUE, J.K. 1991. Estado actual del programa de conservación de *Bombacopsis quinata* en Centro y Sudamérica de la Cooperativa CAMCORE. *Noticiero Mejoramiento Genético y Semillas Forestales para América Central (C.R.)* no.6:21-24.
- INTERNATIONAL CODE of Botanical Nomenclature. 1961. *Regnum Vegetabile* (Holanda) 23.
- JOHNSTON, I.M. 1949. *The Botany of San José Island (Gulf of Panama)*. The Arnold Arboretum of Harvard University. Sargentia 8. 306 p.
- MCVAUGH, R. 1967. Report of the Committee for Spermatophyta. *Taxon* (Holanda) 16:228-229.
- MCVAUGH, R. 1968. Report of the Committee for Spermatophyta. *Taxon* (Holanda) 17:463.
- NICOLSON, D.H. 1979. Nomenclature of *Bombax*, *Ceiba* (Bombacaceae) and *Cochlospermum* (Cochlospermaceae) and their type species. *Taxon* (Holanda) 28(4):367-373.

- NICOLSON, D.H.; ROBYNS, A. 1987. (883) Proposal to conserve 5024a *Bombacopsis* against *Pochota* (Bombacaceae). *Taxon* (Holanda) 36:655-656.
- ROBYNS, A. 1961. Contribution à l'étude monographique du genre *Bombax* s.l. - II. la typification de *B. Ceiba* L. *Taxon* (Holanda) 10:156-160.
- ROBYNS, A. 1963. Essai de monographie du genre *Bombax* s.l. (Bombacaceae). *Bulletin du Jardin Botanique de l'Etat* (Belgique) 33:1-315.
- ROBYNS, A. 1964 (151) Proposal for the conservation of the generic name 5024a *Bombacopsis* Pittier (1916) versus *Pochota* Ramirez Goyena (1909) [Bombacaceae]. *Regnum Vegetabile* (Holanda) 34:60.
- ROBYNS, A. 1967. *Bombacopsis* vs. *Pochota*. *Taxon* (Holanda) 16:468-469.
- STEVENS, W.D. 1987. On the identity and recognition of the genus *Pochota* Ramirez Goyena (Bombacaceae). *Taxon* (Holanda) 36:458-464.
- STEYERMARK, J.A.; STEVENS, W.D. 1988. Notes on *Rhodognaphalopsis* and *Bombacopsis* (Bombacaceae) in the Guayanas. *Annals of the Missouri Botanical Garden* (EE.UU.) 75:396-398. □

SEMILLAS SUPERIORES MEJORES PLANTACIONES

Consideraciones
para la
selección de la
fuente
de semilla en
proyectos
de reforestación.

En Costa Rica, la tasa de reforestación ha aumentado en forma significativa en los últimos años, debido principalmente a que el Estado ofrece incentivos fiscales para esta actividad.

Sin embargo, la calidad de muchas plantaciones no es óptima en cuanto al crecimiento y la calidad de los fustes. En su mayoría, estas plantaciones se establecieron sin considerar la fuente de la semilla que se usó para producir las plantas en el vivero. Ya sea por desconocimiento o por falta de disponibilidad de fuentes comprobadas de semilla. Como consecuencia, el reforestador y el país están sufriendo pérdidas económicas; pues, aumentan los costos en el manejo de la plantación y disminuye su rendimiento.

En el presente documento, se describen algunas de las consideraciones más importantes para la selección de la semilla, con el fin de promover el uso de semilla de calidad superior y así asegurar la buena calidad de las futuras plantaciones.



CENRO AGRONÓMICO
TROPICAL DE INVESTIGACIÓN
Y ENSEÑANZA

COOPERACIÓN EN LOS SECTORES
FORESTAL Y MADERERO
ALEMAN-COSTARRICENSE

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE SEMILLA EN PROYECTOS DE REFORESTACIÓN

LA PROCEDENCIA DE LA SEMILLA:

La procedencia es el factor más importante en la selección de la semilla que se va a usar para establecer un proyecto de reforestación en un sitio definido.

Los árboles de una especie se han adaptado, durante muchos años, a las condiciones del sitio donde están creciendo, siendo los factores más importantes el clima, la altitud y las características del suelo. Como consecuencia, se observan comportamientos diferentes según el lugar en donde se establezcan los árboles. Un árbol procedente de una zona seca posiblemente no se desarrollará bien en una zona húmeda y viceversa.

En el momento de seleccionar la semilla para un proyecto de reforestación, hay que conocer las condiciones del sitio en el cual se va a establecer esta plantación. Luego, se busca una fuente de semilla siguiendo los siguientes criterios:

- a) Usar semilla de fuentes que hayan sido comprobadas en la zona. Estas pueden ser de la misma región o de otras, según lo indiquen los resultados de los ensayos de comprobación.
 - b) Si no existe una fuente de semilla que haya sido comprobada en la zona, entonces se recolecta semilla de buenos árboles o rodales semilleros de la misma región. Si no existen, entonces se usa semilla de una zona con condiciones similares.
-

LA CALIDAD DE LA SEMILLA:

Semilla no comprobada.

Entre los árboles de una misma especie, normalmente hay mucha variación en cuanto a las características de forma, tales como la rectitud del tronco, el desarrollo de la copa, la cantidad y tamaño de las ramas y otros, así como su vigor y rapidez de crecimiento.

Muchas veces, estas características se heredan; es decir, si un árbol "madre" tiene características deseables, es probable que los árboles que nazcan de su semilla tengan características similares. Sin embargo, el ambiente donde crece el árbol también puede influir sobre su crecimiento y la calidad del tronco y en casos extremos esta influencia puede predominar. Aunque no hay certeza absoluta de que un buen árbol "madre" produzca hijos de buena calidad, las posibilidades son mayores que si se usa semilla de árboles regulares o malos. Se recomienda recolectar y usar semilla proveniente de árboles que reúnan las siguientes características:

- tronco recto y cilíndrico, alto y sin horquetas bajas,
- ramas delgadas y horizontales,
- vigorosos y sanos,
- con buena copa y,
- maduros (no sobremaduros).

Para minimizar el riesgo de un fracaso y a la vez asegurar una amplia base genética, es recomendable recolectar semilla de una gran cantidad de árboles (por lo menos 20-30 árboles). Estos deberían estar distanciados a más de 100 metros uno del otro.

Semilla comprobada.

El uso de semilla comprobada (mejorada) es preferible al uso de semilla seleccionada sin comprobar, ya que el aumento del crecimiento y calidad de las plantaciones es mucho mayor y más seguro. En Costa Rica, el CATIE ha venido trabajando fuertemente durante los últimos 17 años, en la identificación y desarrollo de semilla mejorada, la cual ha sido comprobada a través de muchos ensayos de campo en diferentes regiones del país. Actualmente, se han identificado y desarrollado fuentes de semilla genéticamente superior de las siguientes especies:

Acacia (*Acacia mangium*)
Ciprés (*Cupressus lusitanica*)
Deglupta (*Eucalyptus deglupta*)
Eucalipto (*E. urophylla*)
Jaúl (*Alnus acuminata*)
Laurel (*Cordia alliodora*)
Melina (*Gmelina arborea*)
Pino hondureño (*Pinus caribaea*)
Pino rojo (*Pinus tecunumanii*)

Para mayor información, para adquirir semilla o plantas mejoradas comuníquese con:

Próximamente se contará también, con semilla mejorada de:

Chancho (*Vochysia guatemalensis*)
Guayaquil (*Albizia guachapele*)
Pochote (*Bombacopsis quinata*)

Proyecto Mejoramiento Genético Forestal
CATIE

Teléfonos: 556-0755 o 556-0026
Fax: 556-1533

Germinación, repique y cuidado en el vivero de *Eucalyptus deglupta*

Carlos Castro, Oldemar Baeza, Eugenio Corea, Jonathan Cornelius

Puntos claves y recomendaciones prácticas

- En Costa Rica, los viveristas forestales han tenido muchos problemas con la producción de plántulas de *Eucalyptus deglupta*. Sin embargo, la especie puede ser fácilmente producida si se usan normas de vivero adecuadas; ya que es una de las especies con menor costo de semilla por planta producida.
- La clave de la producción exitosa del deglupta es la vigilancia constante de las plántulas recién germinadas, lo cual permite: 1/ prevenir los hongos y tratarlos oportunamente si aparecen, 2/ evitar la deshidratación de las plántulas. Además es importante evitar tocar los tallos y raíces de las plántulas. Estos puntos son fundamentales porque, como las plántulas son muy pequeñas son susceptibles a daños físicos, falta de agua, y hongos.
- Aquí se presentan en detalle las normas para la producción de deglupta que el CATIE ha usado exitosamente a nivel comercial.

1. Introducción

En Costa Rica, muchos viveristas forestales han tenido problemas con la producción de plantas de *Eucalyptus deglupta*. Frecuentemente no se aprovecha ni el 10% de las semillas que germinan, ya que hay grandes pérdidas durante y después de la germinación y durante el repique, problema que eleva el precio por planta producida. El problema ha llegado a tal punto que, algunas organizaciones ya están dejando de plantar deglupta por el alto costo por planta producida. (Vásquez com. pers.²).

La experiencia en los viveros comerciales y experimentales del CATIE, donde normalmente se logran tasas de germinación de por lo menos 2500 plantas por gramo, sugiere que los problemas mencionados se deben no al uso de una semilla mala, sino a su manejo. Lejos de ser caro, el costo de semilla por mil plantas producidas en los viveros del CATIE es de aproximadamente US\$0.10, lo cual la convierte en la especie de menor costo entre las que produce el CATIE.

En la presente nota se describen las normas de vivero que el Proyecto Mejoramiento Genético Forestal (PMGF) del CATIE, ha usado con éxito para producir plántulas de *E. deglupta*.

2. ¿Por qué es tan problemático el deglupta?

Los problemas con la germinación de deglupta se deben básicamente al tamaño de la semilla (hasta 12 millones por kilo). Las plántulas recién germinadas son

muy pequeñas y muy susceptibles a daños físicos y al ataque de hongos. Para germinar y repicar exitosamente el deglupta, hay que tener siempre en cuenta estas características de las plántulas, tal como se describe a continuación.

3. Condiciones para la germinación y repique exitoso del deglupta

▼ La arena

El medio de germinación debe ser arena fina. Si se utiliza arena sin tamizar o colar, el peso de los gránulos puede impedir que las plántulas recién nacidas puedan emerger. No se debe utilizar tierra para germinar, ya que favorece el desarrollo de hongos.

▼ Preparación de arena

Coloque la arena en un carrito para lavarla bien. Posteriormente, le aplica un galón de agua mezclada con 50 ml de formalina, luego, se tapa con plástico y se deja reposar por una semana antes de usar. La formalina sirve para esterilizar la arena. Si no se esteriliza, es probable que haya ataque de hongos.

▼ Cajas de germinación

Para la germinación, utilice cajas de madera de 35 x 50 x 10 cm de profundidad. Estas se llenan con la arena esterilizada. En cada caja se coloca aproximadamente 1 g de semilla, que puede producir alrededor de 2500 plántulas.

▼ Aplicación preventiva de fungicida

Después de poner la arena en las cajas, es preferible realizar una aplicación preventiva de un fungicida a base de cobre (ej. KOCIDE 101 77 P.M. o Hidróxido cúprico, dosis de 2 cucharadas grandes o 30 ml por galón de agua).

1 Proyecto Mejoramiento Genético Forestal, CATIE

2 MSc. William Vásquez, Silvicultor Principal, Proyecto Madroño-3, CATIE.

▼ **Aislamiento de las cajas**

Es común que durante la noche las hormigas se lleven la semilla. Esto ha sucedido en varios viveros que aseguran tener 0% de germinación. Por esto es recomendable aislar las cajas, para lo cual se puede usar agua.

▼ **La siembra**

Se procede a mojar la arena que está en las cajas. Luego se riega la semilla uniformemente en toda la caja. Para facilitar, mezcle la semilla con arena fina seca (una parte de semilla por cinco de arena) y riegue en la caja usando un colador de cocina común. Esto asegura una mejor distribución. Es importante revisar que toda la semilla está cubierta con arena, para lo cual, posteriormente se puede aplicar una capa de arena esterilizada de 1 mm de espesor. Después de sembrar la semilla, se le moja nuevamente con un aspersor fino como el de una boquilla de bomba de espalda, para evitar que las gotas grandes soquen o entierren la semilla.

▼ **Cuidados antes de la germinación**

Hay que mantener húmeda la arena. Normalmente, esto implica que se debe regar todos los días, si la arena está seca.

▼ **Cuidados durante y después de la germinación**

Cuando la semilla empieza a germinar (después de aproximadamente dos a cinco días), es necesario disminuir el riego para evitar el ataque de hongos. Sin embargo, si la arena se seca, aunque sea por unas pocas horas, se debe aplicar riego para evitar pérdidas.

▼ **¿Qué hacer si hay ataque de hongos?**

Es muy importante revisar las cajas de germinación todos los días para detectar a tiempo el ataque de hongos y aplicar el fungicida oportunamente.

Si los arbolitos empiezan a manifestar indicaciones de ataque de hongos, se debe aplicar nuevamente un fungicida a base de cobre. En caso de un ataque severo, se debería aplicar Dithane (con la dosis indicada).

▼ **Preparación de bolsas**

Es importante ir preparando las bolsas para tener todo listo para el repique. En el CATIE se utiliza la siguiente mezcla de sustrato para las bolsas: 1.5 carretillos de tierra (suelo fértil): 1 carretillo de materia orgánica bien descompuesta, al cual se agregan tres paladas de arena fina y cien gramos de abono NPK 10-30-10. Este material alcanza aproximadamente para unas 200 bolsas pequeñas (10 x 19 cm). Esta mezcla da buenos resultados; sin embargo cualquier mezcla que sea exitosa para otras especies debería servir también para de glupta.

▼ **El repique**

Cuando las plantas tengan unos 30 días de germinadas se recomienda iniciar el repique, empezando con las plantas más grandes (de 2 cm). En días soleados se debe repicar por espacio de no más de tres horas (6-9 am, o 3-6 pm) solamente. Si el tiempo está de lluvia o muy fresco (sin sol) se puede repicar todo el día. El procedimiento es el siguiente:

1. *Se riegan las bolsas antes de iniciar el repique.*
2. *En cada bolsa, se hace un hueco en la tierra donde se pondrá la planta. El hueco debe ser de acuerdo al largo de la raíz de la planta.*
3. *Antes de empezar a repicar, se coloca una sombra de zarán a 1 metro de altura. Esta sombra debe cubrir también los lados de las eras, para que el sol no mate las plantas de las orillas. El zarán debe quedar bien tenso para evitar el goteo fuerte en caso de que llueva, ya que esto también perjudicaría las plantas.*
4. *Para sacar las plantas de las cajas de germinación y repicarlas, primero se debe mover la arena con una estaca fina para aflojarlas. Si no se hace esto, se dañarán las raíces y la plantita puede morir. Luego, para tomar las plantas se deben coger de las hojas. Si se toman del tallo las plántulas morirán.*
5. *Las plantas se trasladan de las cajas de germinación sumergidas en agua, por ejemplo en una bandeja plástica con agua. Dependiendo de la habilidad del que está repicando, se pueden llevar unas 200 plantas cada vez.*
6. *Nuevamente, sin tocar los tallos ni las raíces, se colocan en el hueco y se afirma suavemente la tierra, para que la raíz tenga contacto con el suelo. Finalmente, es muy importante regar las plántulas una vez terminado el repique.*

▼ **Cuidados después del repique**

La sombra se mantiene por unos 15 ó 20 días después del repique. Después de 15-20 días se quita la sombra totalmente. Durante ese tiempo se debe haber hecho también el replante de las plantas muertas en las eras. Las plantas se deben regar con aspersión fina todos los días siempre que no llueva.

4. Servicio de asesoramiento técnico del Proyecto Mejoramiento Genético Forestal del CATIE

Si después de seguir estas normas, persisten los problemas con la germinación, el personal del Proyecto MGF del CATIE puede realizar gratuitamente una visita para asesorar a viveros operados por grupos de desarrollo rural. Alternativamente, el Proyecto puede suministrar plantas de material genéticamente superior, en dos formas: plantas embolsadas listas para plantar y plantas recién germinadas listas para repicar.

Nativas versus exóticas:

¿una distinción de importancia en la selección de especies?

Jonathan Cornelius

En años recientes se han escuchado cada vez más manifestaciones a favor del uso de especies nativas en la reforestación en América Central. Por ejemplo, una de las conclusiones del II Congreso Forestal Nacional de Costa Rica (1993) fue que "el Estado debe promocionar las especies nativas para la reforestación nacional" y Navarro (1993) opina en el caso de El Salvador que "hay que efectuar una campaña [de reforestación] a nivel nacional... no de eucalipto, sino de especies nativas". Pero, ¿es de importancia la distinción entre nativas y exóticas para la selección de especies? El presente artículo examina la validez de esta presuposición y llega a la conclusión que, en general, el hecho de ser exótica o nativa en sí, no es ni ventajoso ni desventajoso con respecto a los principales criterios utilizados en la selección de especies. Se concluye que tanto las especies nativas como las exóticas tienen mucho que contribuir a la reforestación centroamericana.

¿Qué es una especie exótica y una especie nativa?

Existen diferentes definiciones del término "exótico". La definición más estricta sugiere que una especie exótica es "la que se introduce de un país extranjero" (Wright, 1964), mientras en el otro extremo está la opinión, cada vez más oída, de que los términos "exótico" y "nativo" sólo pueden ser definidos significativamente con referencia a regiones ecológicas. El problema que plantea este argumento es que "exótico" es un término esencialmente popular; no parece tener sentido intentar redefinirlo en términos científicos que, en el fondo, no están bien fundamentados.

Cualquier plantación es un ambiente "ecológicamente exótico". Este término, en rigor, no posee contenido informativo, porque todas las especies silvestres son "ecológicamente exóticas" en plantaciones. El concepto de si una especie ha sido plantada "fuera de sitio" es de utilidad, pero es una cuestión distinta de si una especie es exótica. La confusión de los dos términos resta utilidad a ambos. En este artículo se adopta la definición estricta del término "exótico", no sólo para evitar cualquier ambigüedad, sino también por ser más acorde con el uso actual del mismo en América Central. Sin embargo, se asume que se trata de comparar especies exóticas con especies nativas plantadas dentro de su rango natural.

Todas las especies pueden ser a la vez nativas de un lugar y exóticas de otro. El decir que "*Bombacopsis quinata* es una especie nativa" es una afirmación sin sentido si no se refiere a un lugar específico. Por lo tanto, si las especies nativas tienen alguna ventaja o desventaja con respecto a las exóticas, ésta debe ser consecuencia no de sus características como tales, sino del hecho de haber sido plantadas dentro de su rango natural. Consecuentemente, para poder examinar si la distinción entre "nativo" y "exótico" tiene importancia con respecto a la selección de especies, es necesario considerar los principales criterios utilizados en la selección de especies y examinar, para cada criterio, si el hecho de ser originario o introducido a una región, podría otorgar alguna ventaja o desventaja.

¿Cuáles son los criterios para la selección de especies?

Las consideraciones principales en la selección de la especie apropiada han sido ampliamente discutidas en textos tales como el de Evans (1992). Idealmente, se seleccionaría la especie que maximice los beneficios al reforestador. Aquí se consideran tres criterios principales: el valor o utilidad del producto final, su productividad en los sitios disponibles y el costo de establecimiento y manejo. A continuación se analizan estos criterios. Aunque se refiere a "madera" como el objetivo de producción, los argumentos aplican a cualquier producto final.





Valor o utilidad del producto final

Pocas personas argumentarían que la madera de las especies plantadas dentro de sus rangos naturales tiende a ser de mayor (o menor) utilidad o valor intrínseco que la de las especies introducidas. Sin embargo, el valor o utilidad del producto final depende no sólo de sus características como tales, sino también del grado en el cual los usuarios finales e intermediarios sean conscientes de ellas. El desconocimiento de las cualidades de la madera de una especie, por excelentes que sean, puede impedir su comercialización y puede constituir una buena razón para evitarla. El hecho de que en el futuro el conocimiento sobre la especie puede difundirse y mejorar su aceptabilidad, puede ser de poco interés al momento de la decisión. Sin embargo, éste es un argumento en contra no de las

exóticas en sí, sino en contra de cualquier especie desconocida. Exóticas bien conocidas, tal como el ciprés en Costa Rica, tienen muy buena aceptación, mientras existen especies nativas poco conocidas y en las que hay poco interés. Además, cabe mencionar que es un error imaginar que la madera de especies nativas cultivadas en plantaciones necesariamente tendrá las mismas propiedades que las de ár-

***La madera de
especies nativas
en plantación
no tiene
necesariamente
las mismas
propiedades que la
del bosque natural***

boles de gran dimensión y edad cosechadas del bosque natural.

La productividad

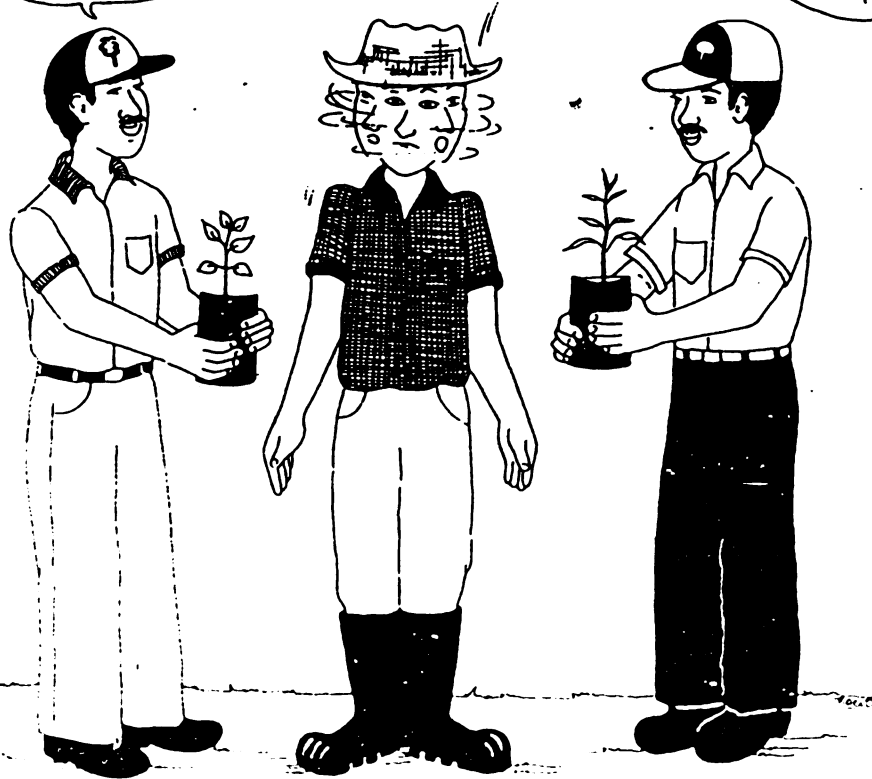
¿Existe alguna razón para creer que las especies plantadas dentro de sus rangos naturales tienden a ser más (o menos) productivas que las especies plantadas fuera de sus rangos naturales? Al contestar esta pregunta, es necesario tomar en cuenta que no se trata de comparar una especie nativa con una especie exótica escogida al azar, sino con especies exóticas escogidas con base en sus requisitos y características conocidas.

¿Tienden las especies nativas a estar mejor adaptadas que las exóticas? Aún asumiendo que la especie introducida ha sido seleccionada de una manera racional y suponiendo que las nativas en cuestión, al igual que la gran mayoría de las exóticas más plantadas, son especies tipo "pionero", la respuesta debe ser un "sí" cauteloso. Aún tomando en cuenta el aspecto geográfico y no ecológico del término "exótico" y a pesar de que las condiciones de una plantación no son naturales para todas las especies, es de esperar que los sitios de plantación se parezcan más a los nichos de las especies nativas que a los de las exóticas.

Sin embargo, hay que recordar que la selección natural es por supervivencia y fertilidad y no directamente por los rasgos de valor comercial, algunos de los cuales (por ejemplo rectitud del fuste y grosor de las ramas) parecen tener muy poco que ver con el valor adaptativo. Las características relacionadas con el valor adaptativo son poco afectadas por la selección natural. De todos modos, aún en el caso de la tasa de crecimiento — rasgo que se supone tiene una relación más estrecha con el valor adaptativo — la mayoría de los técnicos

Usted debe sembrar especies nativas, son mejores

Definitivamente las especies exóticas son mejores





En las fotografías se observan plantaciones exitosas y fallidas. *Vochysia guatemalensis* (1), *Cordia alliodora* (2), *Gimelina arborea* (3) y *Eucalyptus grandis* (4). El éxito o fracaso no depende de si es nativa o exótica sino de la buena selección del sitio, de la fuente semillera y del buen manejo.

© 1994, C. A. ...



forestales concordarían en que, a pesar de estar menos adaptadas, las especies exóticas se comportan tan bien como las nativas. No parece haber diferencias sistemáticas entre las nativas y las exóticas en cuanto a la producción de biomasa por árbol o la proporción de biomasa que constituye el producto final.

Sin embargo, el argumento a favor de las nativas en este sentido no es tan simplista como para alegar que, por estar mejor adaptadas, las nativas crecen más rápidamente o tienen mayores tasas de supervivencia inicial. Se argumenta que las especies exóticas, por haber sido plantadas en un ambiente diferente al cual ha formado su constitución genética, son de alguna manera "ecológicamente inestables", particularmente en cuanto a su susceptibilidad a plagas y enfermedades en comparación con las especies nativas. Por ejemplo, Arias (1994) sostiene que "... por ser estas especies parte de los ecosistemas naturales, tienden a estar en equilibrio con los demás componentes del ecosistema.

Consecuentemente, existe menos riesgo de que sean devastadas por alguna enfermedad o plaga". Este argumento es bien fundamentado en el caso de los ecosistemas naturales. Sin embargo, la susceptibilidad relativa de plantaciones de exóticas y plantaciones de nativas a plagas y enfermedades es un asunto complejo. Existen muchos casos de especies nativas que, cuando

se establecen en plantaciones puras, son atacadas por plagas. Un buen ejemplo es el barrenador de caoba, al cual el argumento de que "su plato preferido es una especie nativa" parece no importarle. Frecuentemente, puede ser que el equilibrio mencionado por Arias sea sostenido por algo tan frágil como la relativa escasez de la especie arbórea, característica común de muchos bosques tropicales. En estos casos, una plantación forestal, particularmente del tipo tradicional en bloque, representa un verdadero banquete para la plaga.

***Tanto especies
nativas como
exóticas tienen
mucho que ofrecer a
la reforestación en
América Central.
Lo importante es la
diversidad de
especies***

Debido a estas consideraciones, a primera vista puede parecer que las especies exóticas tengan una ventaja en este sentido, porque frecuentemente sus plagas y enfermedades naturales están ausentes de la zona de plantación. Sin embargo, se debería considerar ésta como una situación temporal. Al igual que con las especies nativas, abundan los ejemplos de plantaciones forestales exóticas que han sido seriamente atacadas por plagas y enfermedades, hasta tal punto que Zobel y Talbert (1984), autores muy identificados con el uso de las especies exóticas, comentan que "es un hecho incuestionable en la silvicultura exótica que por lo general habrán ataques de plagas". Las plagas locales se adaptan a la especie exótica, o llegan sus plagas naturales.

Tanto los proponentes de la plantación de especies nativas, como los proponentes de la plantación de especies exóticas, deberían aceptar que las plantaciones representan concentraciones inusualmente grandes de alimento para plagas, lo cual puede conducir a explosiones demográficas de éstas y, como consecuencia, a pérdidas catastróficas en productividad. La mejor manera de evitar tales problemas es por medio del uso de una diversidad de especies, sean nativas o exóticas.

Costos

Los únicos costos de interés en el presente contexto son aquellos que varían por especie, grupo que abarca la mayoría de los costos involucrados en el establecimiento, manejo y cosecha de una plantación forestal. Sin embargo, el único costo que posible-





mente puede variar sistemáticamente entre nativas y exóticas pareciera ser el de la semilla. Puede ser necesario importar semilla de especies exóticas y, en tal situación, puede tender a ser más cara que la semilla de especies nativas. Sin embargo, en la práctica muchas veces existen fuentes locales de especies exóticas de base genética suficientemente amplia y consecuentemente, hay poca diferencia en precio y disponibilidad. Cabe mencionar, incluso, que la semilla de algunas especies nativas puede ser más difícil y costoso de conseguir que la de algunas especies exóticas. En general, no parece haber diferencias sistemáticas en los costos de cultivar especies nativas o especies exóticas.

Conclusiones

Evidentemente, cuando la selección de una especie se basa en los criterios técnicos mencionados, es irrelevante si la especie es nativa o exótica (Cuadro 1). Lo que sí es importante es que la especie debe haber sido adecuadamente probada en la zona en cuestión. En caso contrario, es decir, cuando se fomenta la plantación de especies cuyo comportamiento en plantaciones es en gran medida desconocido, es importante que los reforestadores estén concientes del elemento de riesgo involucrado.

También, es necesario tomar en cuenta que existen otros criterios no técnicos para la selección de especies. Por ejemplo, si un agricultor expresa su preferencia por pochote en lugar de melina, posiblemente es porque el pochote es una especie que él ha conocido toda su vida o porque le desagrada el olor de la semilla de melina y si, por otra parte, él está enterado de las ventajas relativas de las dos especies en términos técnicos y financieros, el

Cuadro 1. influencia del origen de la especie en los criterios para su selección.

Criterios	¿Influye si es exótica o nativa?	Observaciones
1. Valor de la madera	No	Las especies desconocidas pueden ser más difíciles de comercializar, pero éstas pueden ser nativas o exóticas.
2. Productividad	No	No existe evidencia para creer que las especies nativas y exóticas, cuando se plantan en plantaciones, difieren en su tasa de sobrevivencia, susceptibilidad a plagas, o producción de biomasa.
3. Costo de cultivar	No	Hay diferencia en costos entre especies, pero ésta no está relacionada con el hecho de ser especie nativa o exótica.

técnico forestal debería respetar esta decisión y, sobre todo, no creer que su criterio es el único criterio válido. Tampoco es aceptable la selección de especies por técnicos forestales u otros interesados con base en criterios no compartidos o explicados a los reforestadores. En este sentido, se debería evitar la toma de decisiones de alto nivel de emprender campañas de reforestación con sólo cierto tipo de especies, por ejemplo especies nativas, lo cual puede privar a los agricultores de otras opciones más productivas. Por el contrario, los técnicos forestales y otros decisores deberían facilitar a los reforestadores la información y apoyo técnico necesarios para que escojan las especies que les ofrezcan los mayores beneficios, según su criterio.

Mientras en el pasado no se ha dado el suficiente énfasis a los sistemas tradicionales y especies nativas, rechazar el uso de especies exóticas sería cometer el reflejo exacto del mismo error. Se debería reconocer que los géneros y especies como pino, euca-

lipto, melina y teca han sido plantados en todo el mundo no solamente porque muchos países (a diferencia de los centroamericanos) carecen de especies nativas útiles, sino también por su gran utilidad y características únicas. Tanto las especies exóticas como las especies nativas tienen mucho con que contribuir a la reforestación en América Central.

Jonathan Cornelius
Genetista Forestal
Lider Encargado, Proyecto Mejoramiento y Conservación Genético Forestal
CATIE/ODA-Gran Bretaña
Turrialba, Costa Rica
Tel: (506) 556 6431
Fax: (506) 556 1533

Nota de la Editora: El autor agradece al M.Sc. Eugenio Corea, al Dr. Francisco Mesén y a los revisores de la *Revista Forestal Centroamericana* por sus valiosos comentarios.

Literatura citada

ARIAS, R. 1993. Árboles nativos de uso múltiple utilizados por pequeños productores de Guatemala. *Revista Forestal Centroamericana* (C.R.) 7(3): 10-15

CONGRESO FORESTAL NACIONAL (2, 1992, San José, C.R.). 1993. Memoria. Ed por Comité Organizador. San José, Costa Rica, s.n. p. 103-105

EVANS, J. 1992. *Plantation forestry in the tropics*. 2 ed. Reno Unido, Oxford University Press. 403 p.

NAVARRO, R. 1993. Desarrollo social y ecológica de El Salvador. *Revista Forestal Centroamericana* (C.R.) 3(2): 35-36

WRIGGLE, J.W. 1964. *Mejoramiento genético de árboles forestales*. Roma, Italia, FAO. Estudios de Silvicultura y Productos Forestales No 16. 436 p.

ZOBEL, B.L., LAIBER, J. 1984. *Applied forest tree improvement*. New York, John Wiley & sons. 305 p.



"En todas partes del mundo sería estimada esta madera."

Gonzalo Fernández de Oviedo y Valdés (1514-1557)

Duradera, fuerte, fácil de trabajar y de una belleza extraordinaria, la madera de caoba está entre las más codiciadas del mundo. Por sus características únicas, sigue siendo una de las más comercializadas nacional e internacionalmente. Es una importante fuente de divisas para productores como Bolivia y Brasil y uno de los recursos naturales renovables más importantes de América Latina.

A continuación se presenta información de las tres especies nativas de caoba (*Swietenia*) existentes en América Tropical, enfatizando en *Swietenia macrophylla*, la más importante económicamente en la actualidad.



TAXONOMÍA

Familia: Meliaceae

Género: *Swietenia*

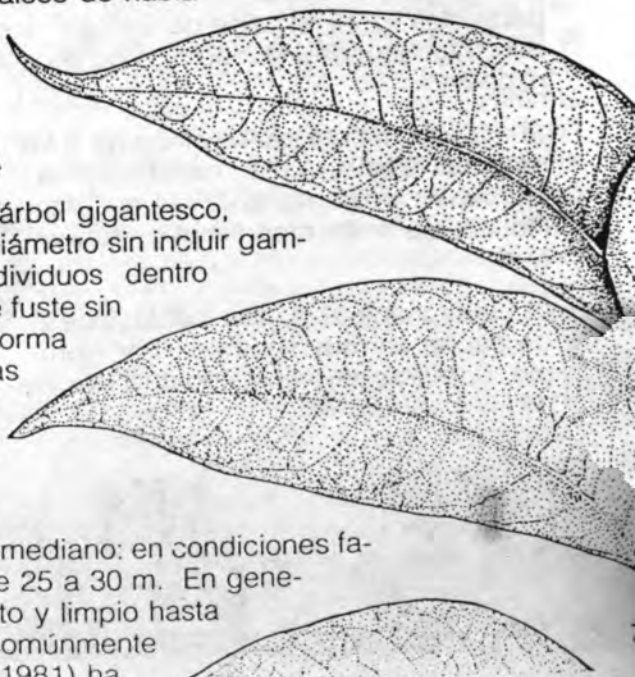
Especies: *S. macrophylla* King, *S. humilis* Zucc., *S. mahagoni* Jacquin, son los nombres científicos generalmente aceptados, pero existen varios sinónimos históricos (Styles, 1981). Actualmente la taxonomía se encuentra en revisión.

Nombres comunes: En América Tropical se conoce generalmente como caoba. Para diferenciar las tres especies presentes en Mesoamérica y el Caribe, se aplican diferentes calificativos: caoba antillana (*S. mahagoni*); caoba del pacífico (*S. humilis*), y caoba de hoja grande o hondureña (*S. macrophylla*). Otros nombres comunes son: mara (Bolivia); mahoni (Surinam); águaño (Brasil, Perú); araputango, mogno (Brasil); acajou (Haití y otros países francoparlantes) y mahogany (Belice, Florida, Jamaica y otros países de habla inglesa). Además, existen numerosos nombres indígenas, como yulu usado en La Mosquitia nicaragüense.

DESCRIPCION BOTANICA

Arbol: *S. macrophylla* puede llegar a ser un árbol gigantesco, hasta 60 m de altura (Styles, 1981) y 3 m de diámetro sin incluir gambas (Navarro, 1995). Frecuentemente, los individuos dentro del bosque natural presentan de 15 a 20 m de fuste sin ramas, muchas veces con gambas altas. La forma de la copa es variable, dependiendo de las condiciones de luz y competencia; en el bosque puede ser relativamente angosta, mientras en lugares abiertos puede ser ancha y redondeada.

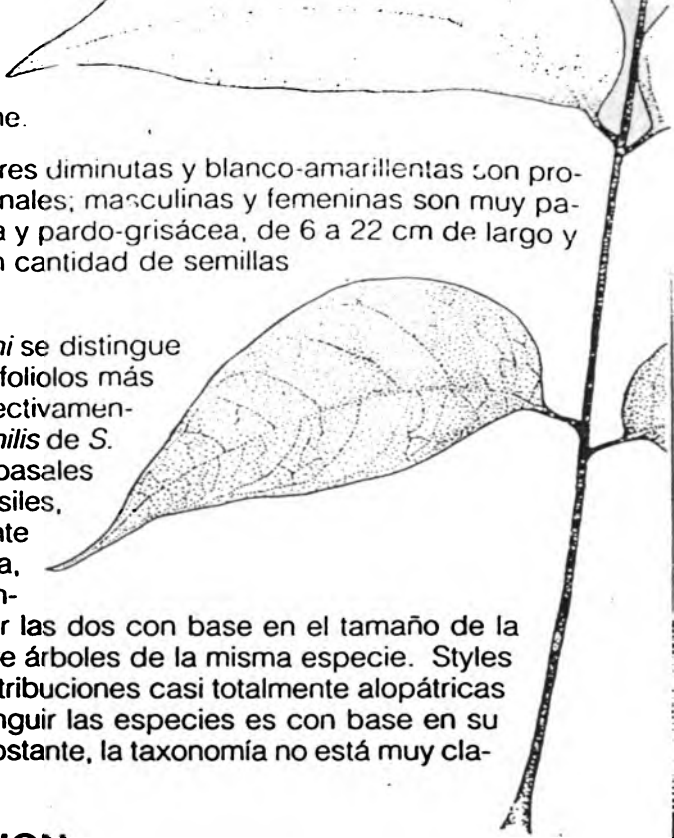
S. humilis y *S. mahagoni* son árboles de porte mediano: en condiciones favorables pueden alcanzar alturas máximas de 25 a 30 m. En general, *S. humilis* se caracteriza por un fuste recto y limpio hasta una altura de 2 a 4 m; arriba de este punto, comúnmente...



Hojas: Las hojas son alternas y casi siempre paripinnadas, con 2 a 8 folíolos opuestos o subopuestos. Son enteros, glabros y con ápice notablemente acuminado y hasta filiforme.

Flores y frutos: *Swietenia* es monoica. Las flores diminutas y blanco-amarillentas son producidas en inflorescencias axilares o subterminales; masculinas y femeninas son muy parecidas. El fruto es una cápsula erecta, leñosa y pardo-grisácea, de 6 a 22 cm de largo y de 3 a 12 cm de diámetro. Contiene una gran cantidad de semillas grandes y aladas (de 2 a 10 cm de largo).

¿Cómo distinguir las especies? *S. mahagoni* se distingue de las otras dos especies por sus cápsulas y folíolos más pequeños (menos de 10 y 6 cm de largo, respectivamente), mientras es más difícil de distinguir *S. humilis* de *S. macrophylla*. Según Styles (1981), los folíolos basales de *S. humilis* tienden a ser sésiles o subsésiles, mientras las de *S. macrophylla* son claramente peciolados. Sin embargo, esta característica, aunque útil, no parece ser completamente confiable. Tampoco parece ser posible diferenciar las dos con base en el tamaño de la cápsula, la cual demuestra gran variación entre árboles de la misma especie. Styles (1981) reporta que las tres especies tienen distribuciones casi totalmente alopatricas (no se traslapan). El modo más fácil de distinguir las especies es con base en su zona de ocurrencia y el tamaño del árbol; no obstante, la taxonomía no está muy clara en la actualidad.



DISTRIBUCION

S. macrophylla tiene el rango más amplio de las tres especies, extendiéndose desde la latitud 22° N en la costa del Golfo de México, hasta aproximadamente 17° S en la zona amazónica de Bolivia. Está presente en todos los países continentales entre México y Bolivia, excepto las Guayanas y El Salvador. No se encuentra en zonas muy secas, ni en zonas muy húmedas sin estación seca marcada.

S. humilis está restringida al pacífico seco de México y Centroamérica, extendiéndose desde el norte de México hasta el norte de Costa Rica, principalmente por la costa, pero también en el interior, como en el valle de Comayagua, Honduras (Molina, 1974), norte-central de Nicaragua (Salas, 1993) y sur-oriental de Guatemala (Lamb, 1966). Varios autores reportan la existencia de *S. macrophylla* en el pacífico seco de Costa Rica. Sin embargo, los árboles, incluso los más viejos, son de porte mediano, muy parecidos a la *S. humilis* del resto de la vertiente pacífica centroamericana y muy diferentes a los ejemplares enormes de *S. macrophylla* que se encuentran en otras zonas con climas parecidos (p. ej. al norte de Belice). Todavía queda por definir la identidad taxonómica de la caoba de Guayacaste.

S. mahagoni está casi restringida a las islas del Caribe; en el continente se encuentra únicamente en el sur de Florida. Su límite meridional es Trinidad.

El estado actual de las poblaciones de caoba es muy variable. Por ejemplo, *S. macrophylla* ha sido casi elimina-

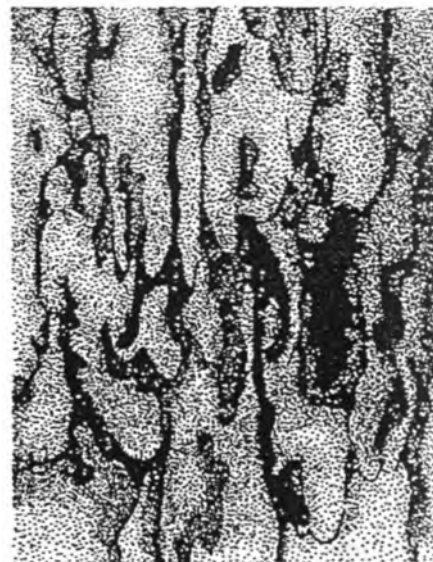




da de áreas accesibles de Honduras y Nicaragua, pero todavía se encuentra en áreas protegidas de Petén (Guatemala) y Belice. También existen grandes áreas de caoba en Bolivia y Brasil. La situación de las otras especies es más crítica, debido a que en las Antillas y el Pacífico Mesoamericano la deforestación ha sido más severa; la mayoría de los árboles que quedan se encuentran dispersos en cercas, potreros, y a las orillas de caminos y ríos.

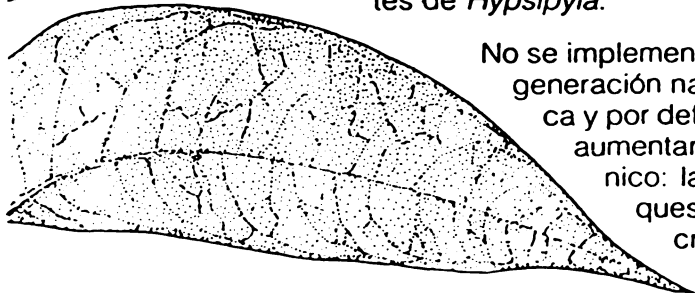
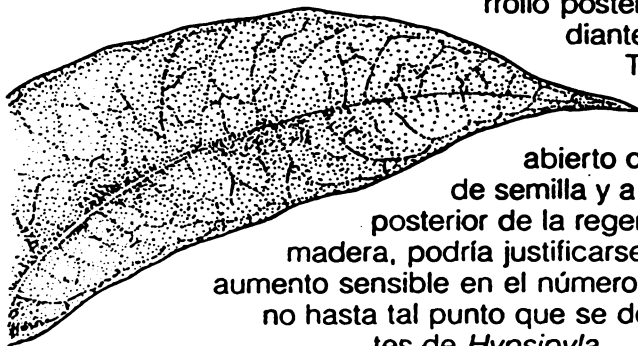
ECOLOGIA Y SILVICULTURA

Es una especie pionera longeva (pioneras especies que aparecen en el bosque y permanecen por muchos años). Aunque es heliófita, es tolerante a la sombra leve, propiedad que le permite desarrollarse bajo la sombra de pioneros iniciales como balsa (*Ochroma pyramidale*) y guarumo (*Cecropia* spp.). Se encuentra en pequeñas manchas en el bosque, frecuentemente separadas. Las tres especies de caoba, y particularmente *S. macrophylla*, se encuentra en una gran variedad de condiciones ambientales: precipitación de 1 400 a 2 500 mm al año (Lamprecht, 1990), en suelos calcáreos, ácidos, pantanosos, bien drenados y en elevaciones desde el nivel del mar hasta por lo menos 900 metros (Jiménez, 1994).



Históricamente, y en gran medida todavía, la caoba ha sido aprovechada mediante el método selectivo, extrayendo los árboles más grandes y rectos. Por ser un pionero longevo, en caobales maduros casi no hay árboles jóvenes (Lamprecht, 1990). Por lo tanto, la remoción de los árboles grandes se convierte en un sistema no sostenible. La fijación de tamaños mínimos de corte es a veces presentada como manejo sostenible; no obstante, lo único que hace es posponer unos años más la eliminación permanente de la especie del rodal.

La regeneración natural de caoba, al igual que la de otras especies, depende de la presencia de fuentes de semilla y condiciones aptas para la germinación y desarrollo posterior. Ambas condiciones podrían cumplirse mediante la implementación de un sistema parecido al TSS (Tropical Shelterwood System) utilizado en Trinidad (Lamprecht, 1990). En este sistema, la regeneración se estimula dejando un dosel abierto de árboles semilleros, para así asegurar la fuente de semilla y a la vez la suficiente luz para permitir el desarrollo posterior de la regeneración. Posteriormente, por el alto valor de su madera, podría justificarse un manejo intensivo; uno de los objetivos es el aumento sensible en el número de árboles de la especie por hectárea, aunque no hasta tal punto que se den condiciones que provoquen los ataques fuertes de *Hypsipyla*.



No se implementan sistemas silviculturales basados en la regeneración natural por falta de presión económica y política y por deficiencias administrativas, pero la limitante en aumentar las plantaciones de caoba es de índole técnico: la dificultad de encontrar solución a los ataques de *Hypsipyla*. En otros aspectos (forma, crecimiento, valor, adaptabilidad, facilidad de manejo de semillas y producción de plantas) la caoba es una especie inusualmen-

MADERA Y USOS

La madera es de color rojizo a rojizo-marrón oscuro. Es moderadamente liviana a moderadamente pesada (Carpio, 1992; Lamprecht, 1990; Webb, 1980). Su gran valor se debe sobre todo a la combinación de la belleza, fácil trabajabilidad y estabilidad dimensional (Edlin, 1969). Debido a esto, se utiliza principalmente para acabados interiores finos, muebles y artesanía.

PLAGAS Y ENFERMEDADES

La plaga más importante es la *Hypsipyla grandella* (Lepidoptera: Pyralidae). Las larvas de esta mariposa nocturna se alimentan de los brotes juveniles, destruyendo la dominancia del eje principal anulando la posibilidad de que se forme un fuste de valor comercial. Aunque se han realizado ensayos sobre sistemas de control, los resultados no han sido consistentes (Newton *et al.*, 1993), razón por la cual aún no pueden brindarse recomendaciones para su control. La solución a este problema traería enormes beneficios.

LITERATURA CITADA

- EDLIN, H.E. 1969. What wood is that?: a manual of wood identification. London, Reino Unido, Stobart. 160 p.
- JIMENEZ, Q. 1993. Arboles maderables en peligro de extinción en Costa Rica. San José, Costa Rica, INCAFO. S.A. 12: p.
- LAMB, F. B. 1966. Mahogany of tropical America. E.U.A., University of Michigan Press. 220 p.
- LAMPRECHT, H. Silvicultura en los trópicos. Eschborn, Alemania, GTZ. 335 p.
- MOLINA, A. 1974. Vegetación del Valle de Comayagua. Ceiba (Honduras) 18(12):47-69.
- NAVARRO, C. 1995. Exploración y recolección de caoba en Petén. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Informe interno, Proyecto MGF/Caoba. 12 p. Sin publicar.
- NEWTON, A.C.; BAKER, P.; RAMMARINE, S.; MESEN, J.F.; LEAKEY, R.R.B. 1993. The mahogany shoot borer: prospects for control. Forest Ecology and Management (Holanda) 57:301-328.
- SALAS, J.B. 1993. Arboles de Nicaragua. Managua, Nicaragua, Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente. 388 p.
- STYLES, B.T. 1981. Swietenioideae. In: Flora Neotropica Monograph No. 28: Meliaceae. New York, New York Botanical Garden. p. 359-421.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos las sugerencias y críticas constructivas de Quirico Jiménez (INBio), Steve Gretzinger y Francisco Mesén (CATIE).

Jonathan Cornelius, Líder
Rob W. Paterson, Investigador
Carlos Navarro, Investigador
Proyecto Mejoramiento Genético Forestal
CATIE



Revista Forestal Centroamericana, CATIE, 7170 Turrialba, Costa Rica
Tel. (506) 556 6282/556 6431 (ext. 330) Fax: (506) 556 6282/556 1533

