

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).

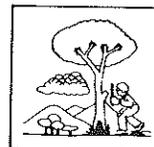
Los mayores avances en la silvicultura clonal se han dado en las grandes compañías reforestadoras, y las técnicas desarrolladas no han estado al alcance de los pequeños grupos rurales en países en desarrollo, que generalmente no cuentan con el capital necesario para hacer grandes inversiones. Es necesario 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 suculenta 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/ Líder, Proyecto Mejoramiento Genético Forestal-PMGF/CATIE, Turrialba, Costa Rica.
 2/ Líder 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 quinata* (pochote, cedro espino)
- Cordia alliodora* (laurel)
- Eucalyptus deglupta* (deglupta)
- Gmelina arborea* (melina)
- Swietenia macrophylla* (caoba)
- Vochysia 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 infrarojo 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

piedras 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).

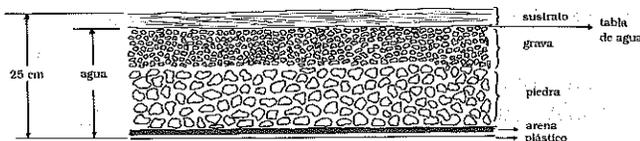
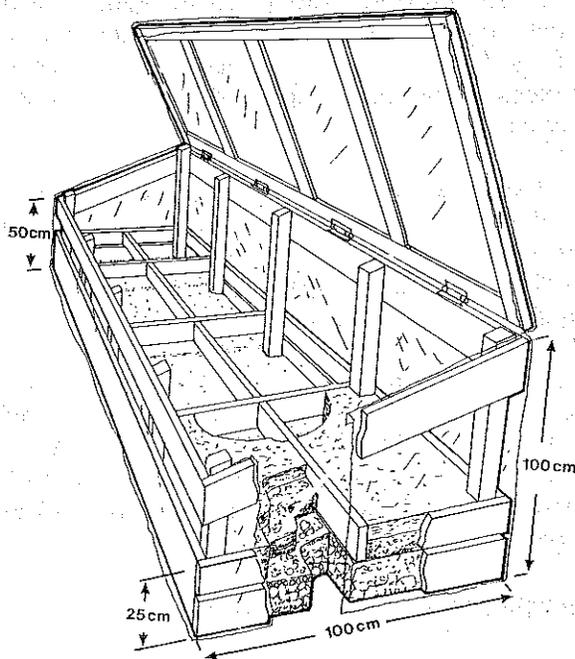


Fig. 1. El propagador de sub-irrigación

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 período 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%.

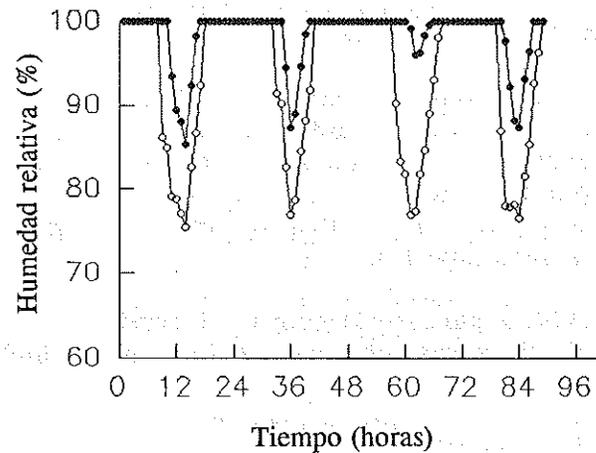


Fig. 2. Variaciones típicas en la humedad relativa externa (o) y dentro del propagador de sub-irrigación (●) para un período de cuatro días en Turrialba, Costa Rica.

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% (Mesén, 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.

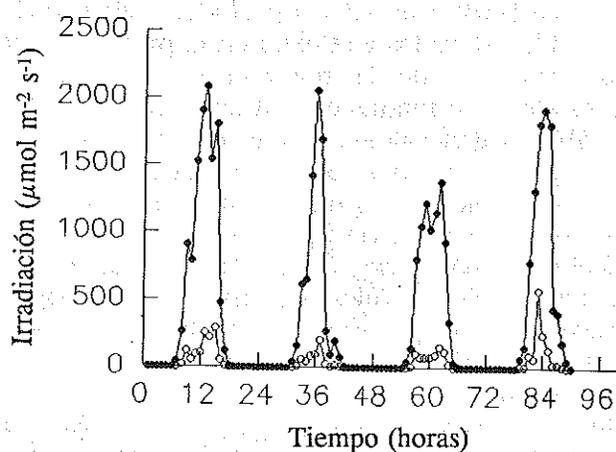


Fig. 3. Variaciones típicas en irradiación dentro de un propagador a plena exposición (●) y un propagador bajo sombra de sarán (○), en Turrialba, Costa Rica.

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 sí aumenta la temperatura dentro del propagador, se reduce la humedad relativa y en consecuencia, aumenta la pérdida de agua por transpiración.

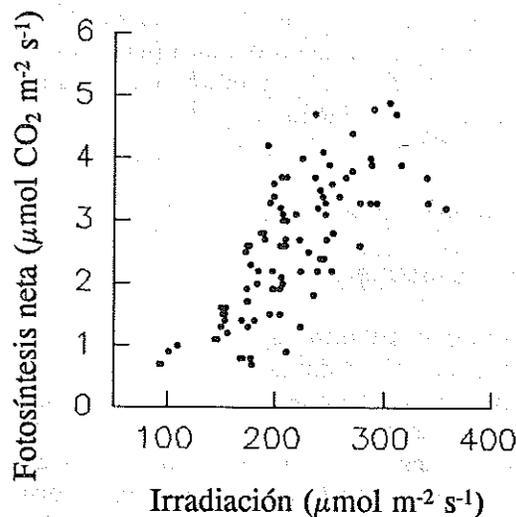


Fig. 4. Curvas fotosintéticas de respuesta a la luz para estacas no enraizadas de *C. alliodora* en propagadores de sub-irrigación, a los 21 días del establecimiento.

Bajo condiciones tropicales, el propagador de sub-irrigación 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.

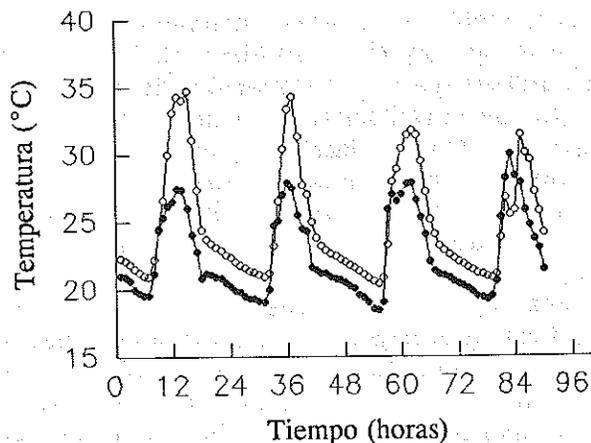


Fig. 5. Variaciones típicas en las temperaturas del aire (o) y del sustrato (●) en propagadores de sub-irrigación bajo sombra de sarán en Turrialba, Costa Rica.

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. *G. 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 períodos 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,

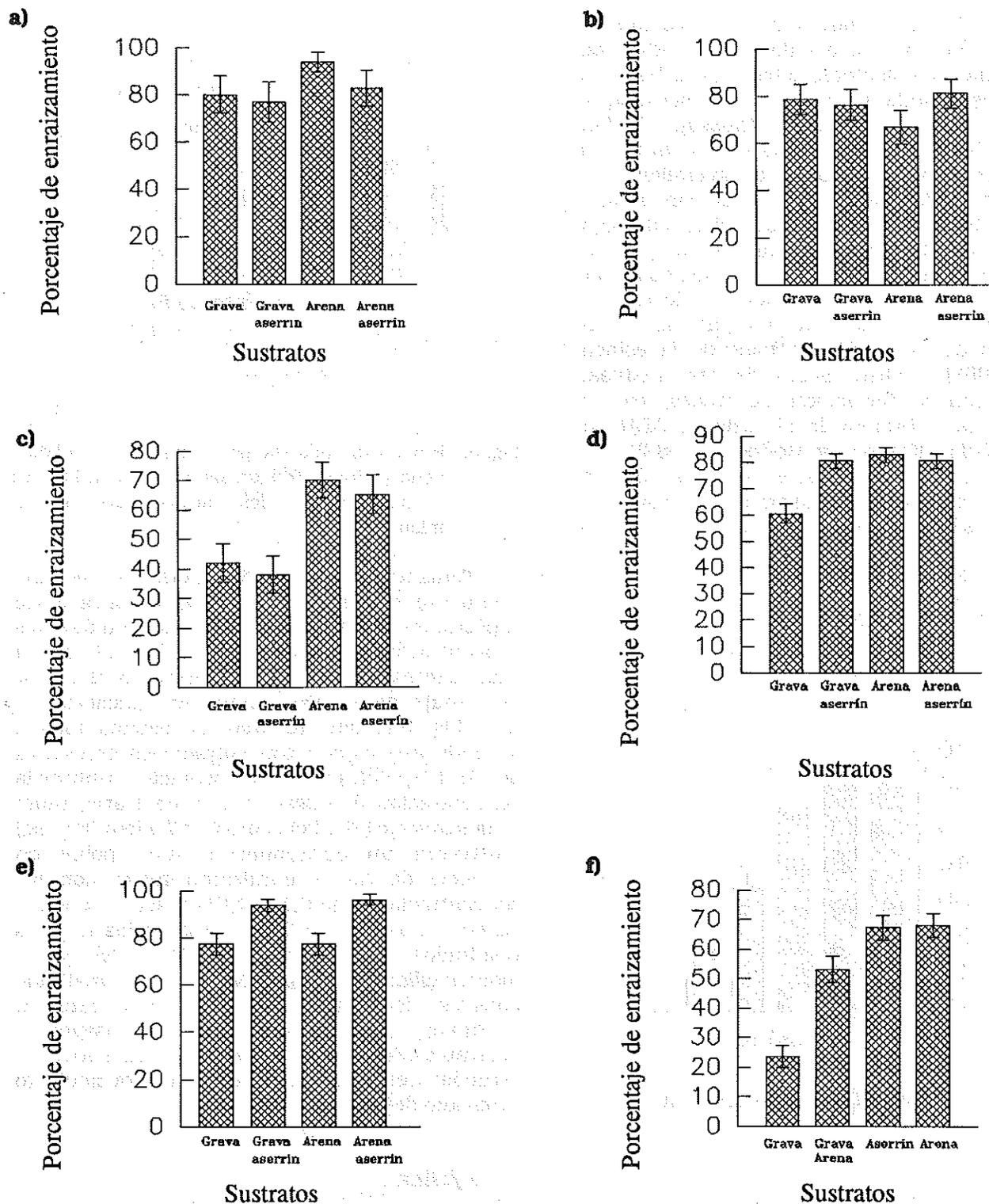
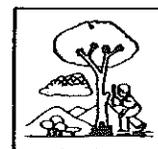


Fig. 6. Efecto del sustrato en propagadores de sub-irrigación sobre el enraizamiento de estacas de a) *G. arborea* a los 37 días; b) *A. guachapele* a los 24 días; c) *C. alltodora* a los 45 días; d) *V. hondurensis* a los 63 días; e) *E. deglupta* a los 21 días; f) *B. quinata* a los 63 días en propagadores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



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.

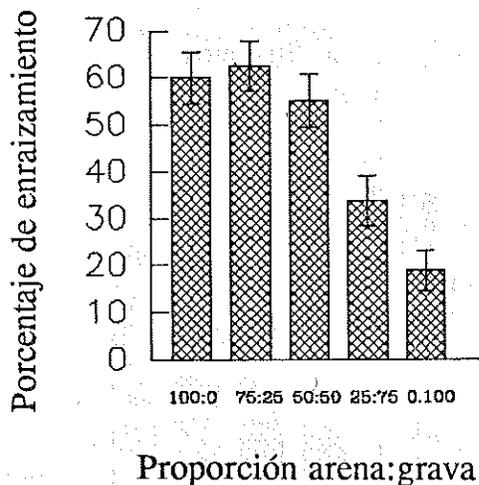


Fig. 7. Efecto de diferentes combinaciones de arena y grava en el sustrato sobre el enraizamiento de estacas de *S. macrophylla* a los 77 días en propagadores de sub-irrigación. Barras = error estándar.

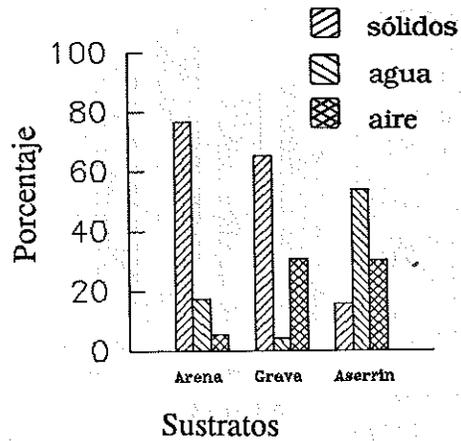


Fig. 8. Proporción relativa por volumen de sólidos, agua y aire de tres de los sustratos utilizados comúnmente en los estudios de enraizamiento.

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. alliodora* (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. quinata* (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

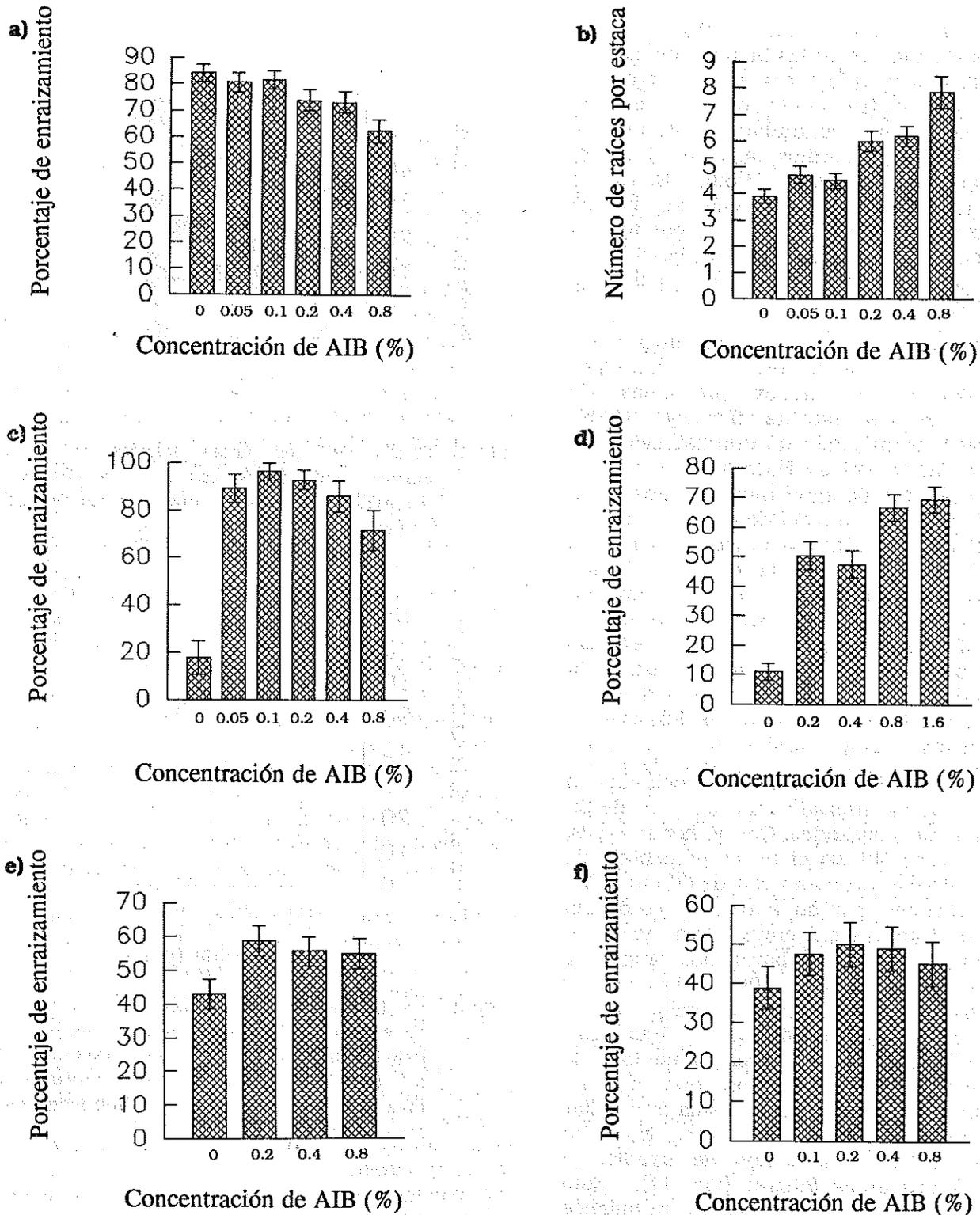


Fig. 9. Efecto de la concentración de AIB sobre a) el porcentaje de enraizamiento y b) el número promedio de raíces en estacas de *V. hondurensis* a los 63 días; el porcentaje de enraizamiento de estacas de c) *A. guachapele* a los 24 días; d) *C. alliodora* a los 40 días; e) *B. quinata* a los 63 días; 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 basípeto en las estacas y permiten o estimulan la iniciación y desarrollo de los primordios radicales (Haissig, 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 (Haissig, 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 período de enraizamiento. En estacas catalogadas como "dificiles 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.

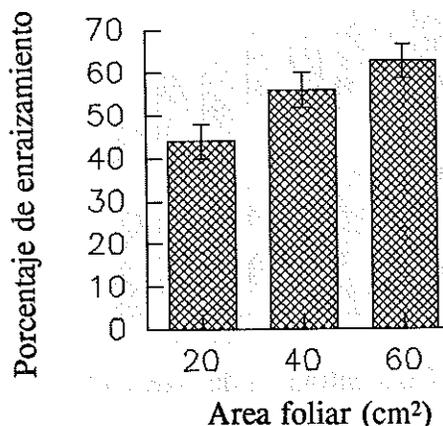


Fig. 10. Efecto de tres áreas foliares sobre el enraizamiento de estacas de *V. hondurensis* después de 81 días en propagadores de sub-irrigación. Barras = error estándar.

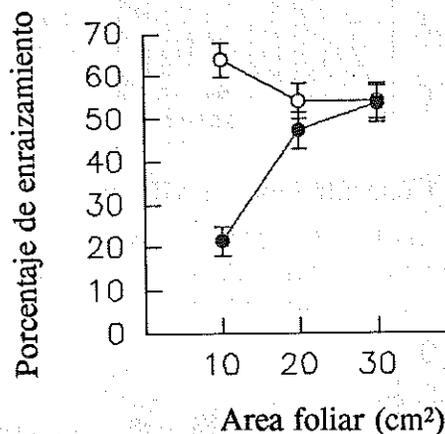
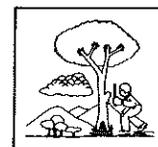


Fig. 11. Efectos del área foliar sobre el enraizamiento de estacas de *C. alliodora* en propagadores bajo irradiaciones máximas de 2100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (o) y 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (●) después de 42 días en propagadores de sub-irrigación. Barras = t (DMS) 0.05.

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 semillera. 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.

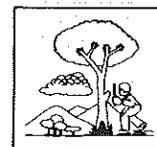
El método de propagación descrito aquí ha sido probado con éxito en más de 100 especies de diferentes ecosistemas y que tienen una gama amplia de usos (Leakey *et al.*, 1982a). Si bien

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

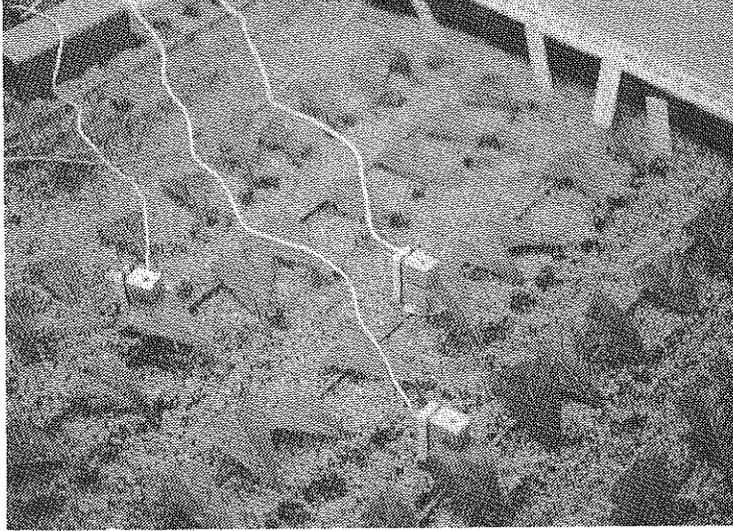
- BAILEY, N.T.J. 1959. *Statistical methods in Biology*. Londres, G.B., English Universities Press. p. 24.
- BEADLE, C.L.; LUDLOW, M.M.; HONEYSETT, J.L. 1987. Water relations. *In Techniques in bioproductivity and photosynthesis*. Ed. by J. Coombs; D.O. Hall; S.P. Long; M.O. Scurlock. 2 ed. Oxford, G.B., 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., Discorides 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., Discorides 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., Discorides 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.



- LEAKEY, R.R.B. 1985. The capacity for vegetative propagation in trees. In *Attributes of trees as crop plants*. Ed. by M.G.R. Cannell; J. Jackson. Monks Wood, Huntingdon, G.B., Institute of Terrestrial Ecology. p. 110-133.
- LEAKEY, R.R.B.; CHAPMAN, V.R.; LONGMAN, K.A. 1982a. Physiological studies for tropical tree improvement and conservation. Factors affecting root initiation in cuttings of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. *Forest Ecology and Management (Holanda)* 4:53-66.
- LEAKEY, R.R.B.; LAST, F.T.; LONGMAN, K.A. 1982b. Domestication of tropical trees: an approach securing future productivity and diversity in managed ecosystems. *Commonwealth Forestry Review (G.B.)* 61:33-42.
- LEAKEY, R.R.B.; LONGMAN, K.A. 1988. Low-tech cloning of tropical trees. *Appropriate technology (G.B.)* 15:6.
- LEAKEY, R.R.B.; MESEN, J.F. 1991a. Métodos de propagación vegetativa en árboles tropicales: enraizamiento de estacas juveniles. In *Manual sobre mejoramiento genético forestal con referencia especial a América Central*. Ed. by J.P. Cornelius; J.F. Mesén; E. Corea. Turrialba, C.R., CATIE. p. 113-133.
- LEAKEY, R.R.B.; MESEN, J.F. 1991b. Estrategias de silvicultura clonal para especies forestales tropicales. In *Manual sobre mejoramiento genético forestal con referencia especial a América Central*. Ed. by J.P. Cornelius; J.F. Mesén; E. Corea. Turrialba, C.R., CATIE. p. 135-152.
- LEAKEY, R.R.B. *et al.* 1990. Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review (G.B.)* 69(3):247-257.
- LIBBY, W.J.; RAUTER, R.M. 1984. Advantages of clonal forestry. *The Forestry Chronicle (Can.)* 60(3):145-149.
- LOACH, K. 1988. Water relations and 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. 102-116.
- MESEN, 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, G.B. s.n. s.p. Sin publicar.
- PHILLIPS, I.D.J. 1969. Apical dominance. In *Physiology of plant growth and development*. Ed. by M.B. Wilkins. London, G.B., McGraw Hill. p. 163-202.
- PHILLIPS, I.D.J. 1975. Apical dominance. *Annual Review of Plant Physiology (EE.UU.)* 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. ■

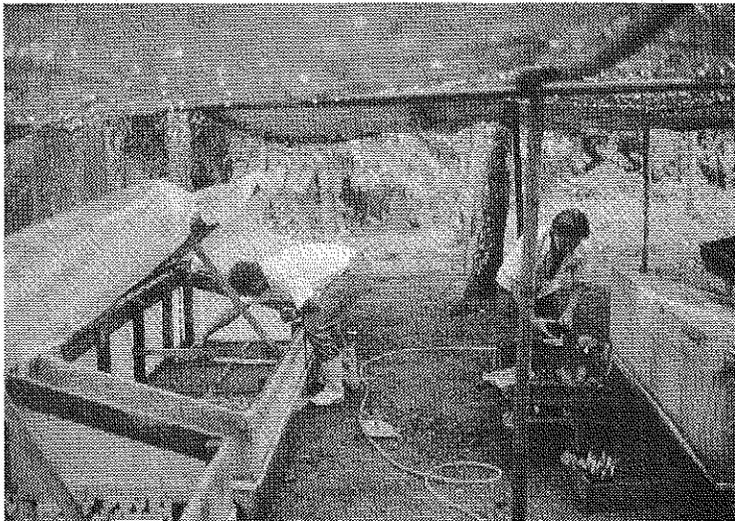
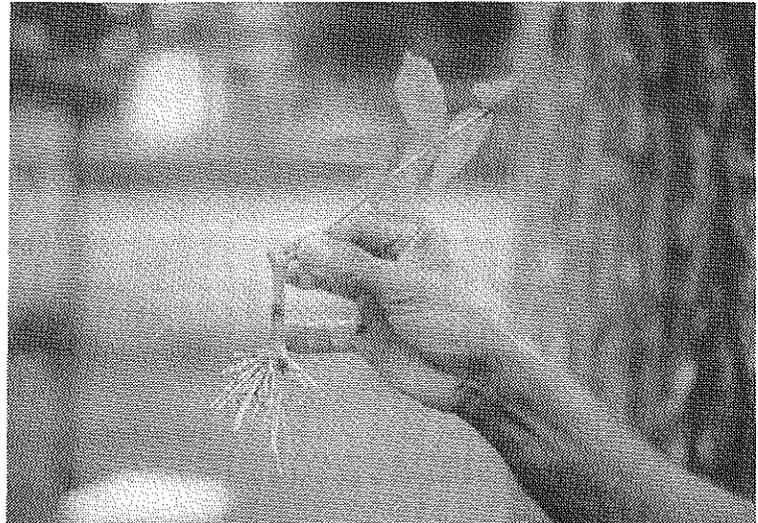


EL CHASQUI



Las estacas de *C. alliodora* son evaluadas durante el proceso de propagación para determinar el potencial hídrico 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.