

Capítulo 6. Propagación y Plantación de Árboles

Se ha escrito mucho sobre el tema del manejo de semillas, propagación y prácticas de viveros de árboles tropicales. Las contribuciones más significativas se incluyen en el Apéndice F y en la bibliografía. Estos procesos son dinámicos, y cambian con las nuevas especies, materiales e ideas. Las prácticas entre proyectos o viveros varían enormemente, debido a que los trabajadores de los viveros tienen distintos niveles de ingeniosidad, y más particularmente, debido a la falta de comunicación. Al principio, las plantaciones se establecían con plántones a raíz desnuda, pero la mortalidad excesiva en el campo hizo que se empezaran a usar envases para los eucaliptos y los pinos. Actualmente, debido al alto costo de los envases, se intenta volver al plantado a raíz desnuda, prestando más cuidado a la selección de las condiciones climáticas y a la técnica de plantado.

La intención de este capítulo no es proporcionar una guía completa para la propagación de las especies madereras con potencial para los trópicos. Más bien, refiere al lector a las muchas y excelentes fuentes de información. Luego, bajo cada fase de la operación, se describen los comportamientos típicos o inusitados como indicio de lo que se puede esperar en las condiciones locales (Fig. 6-1).

Planeamiento de una plantación

La mayoría de los países de América tropical tienen interés en plantar bosques, el cual se manifiesta en sus leyes o en su política general. Este interés reconoce los



Fig. 6-1. — Reforestación a gran escala con plantaciones industriales; un objetivo a largo plazo en el sur de Brasil.

beneficios que los bosques naturales y las plantaciones ofrecen: conservación del suelo, protección a las cuencas, preservación de la vida silvestre y producción de madera. El primer paso para la creación de estos bosques, la determinación del potencial de recursos, y la decisión de donde, cuando y cómo alcanzar esos potenciales, constituyen la función de la planificación de los recursos nacionales.

El proceso de planificación de los recursos. La planificación depende mucho de los siguientes tipos de información sobre el ambiente físico de una región:

1. Mapas planimétricos del país entero, exactos y al día, a una escala suficientemente grande como para mostrar todas las características naturales con cierto detalle.
2. Mapas topográficos del país a una escala y con curvas de nivel a intervalos adecuados para localizar las cuencas y las clases de niveles que precisan los límites deseables de intensidad de uso de la tierra.
3. Mapas de suelos con detalles adecuados y descripciones para diferenciar, con base en la estabilidad, profundidad y potencial productivo del suelo, las regiones más apropiadas para el cultivo de alimentos, forraje, bosques productivos y bosques protectores del suelo, agua y biodiversidad.
4. Requerimientos futuros de agua, ubicación y extensión de los principales recursos de agua superficial, subterránea y embalses.
5. Ubicación de zonas en riesgo actual y potencial de inundación; daño previsible a sistemas de irrigación, terrenos de cultivos principales, infraestructuras urbanas, comerciales e industriales.
6. Datos de precipitación, incluyendo registros a largo plazo e intensidad de las tormentas.
7. Fotografías aéreas recientes, con traslapo estereoscópico, adecuadas para trazar el mapa de cobertura forestal, y si es posible, de los tipos principales de bosques, tanto comerciales como no comerciales.
8. Tasas actuales y previsibles de extracción de madera a nivel nacional, deforestación y reforestación;

importaciones y exportaciones de productos forestales y las tendencias del consumo interno.

9. Productividad de las plantaciones forestales existentes con distintas especies de árboles, en una variedad de sitios dentro del país, o bajo condiciones semejantes en otras partes.

En la mayor parte de la región existen suficientes datos sobre estos recursos como para hacer que la planificación pueda hacerse en forma confiable. En algunas zonas, los datos se almacenan en sistemas automatizados de información geográfica (Geographic Information Systems - GIS). Los siguientes pasos deberían conducir a la selección de los terrenos que más necesitan de plantaciones forestales:

- Para mostrar y sintetizar aspectos relevantes de la evaluación y selección del sitio se debe usar mapas con una misma escala.
- Las clases de nivel se deben identificar para delinear tentativamente las zonas que: 1) son apropiadas para la agricultura mecanizada, 2) pueden ser cultivadas de manera continua o periódicamente, 3) requieren una cobertura vegetativa permanente, 4) se pueden dedicar al pastoreo continuo, 5) deben estar protegidas por cobertura boscosa, 6) se puede extraer la madera y 7) no se deben modificar para proteger al suelo, agua o recursos genéticos.
- Se pueden añadir datos más precisos sobre grupos o tipos de suelos, a medida que aparecen nuevos criterios para definir límites seguros de intensidad de uso de la tierra, según clases de nivel. La productividad posible de varias actividades agrícolas y forestales es particularmente importante.
- Las áreas que proporcionan un abastecimiento crítico de agua, y sus cuencas tributarias, se pueden considerar una restricción complementaria para la intensidad de uso de la tierra.
- Estos datos se pueden sintetizar para generar un mapa provisional de suelos forestales de la nación, mostrando todas las zonas que deben ser forestadas, para garantizar los valores que la cobertura forestal ayuda a mantener. Las prioridades del mantenimiento de la cobertura forestal se deben regir por la pendiente, tipo de suelo, disponibilidad de agua o ecosistemas poco usuales.

- Se deben calendarizar los requerimientos de madera para uso nacional (y de ser posible, los de exportación), con suficiente antelación como para permitir una meta de producción realista y una rotación arbórea basada en las tendencias actuales.
- La experiencia generada sobre productividad del bosque y de plantaciones se puede usar para encontrar terrenos capaces de cumplir con las metas de producción.
- Se debe dar prioridad a las propuestas de plantaciones forestales basadas en el potencial productivo y uso actual del terreno (disponibilidad, suficiencia de la cobertura vegetal, potencial de regeneración natural adecuada y facilidad de establecimiento de la plantación).

Un análisis como este, por lo general identifica una mayor cantidad de terrenos deforestados manejables, que la necesaria para cumplir con las metas de producción de madera. Los sitios más productivos se deben seleccionar, con base en un manejo intensivo, tanto de los bosques naturales como de las plantaciones madereras. Se puede permitir que el resto vuelva a reforestarse naturalmente, a excepción de donde hay problemas de cuencas o erosiones severas, que quizás requieran el desarrollo rápido de una cobertura protectora.

La producción maderera puede ser menos competitiva económicamente que la producción intermitente de alimentos y forraje, en parte debido al costo de transportar grandes volúmenes de material voluminoso, como la madera. Este problema, sin embargo, se puede mitigar si se concentra la producción de madera en zonas donde las facilidades de procesamiento existen, o se pueden establecer sin mucho problema. Estudios efectuados en México llevaron a la conclusión que ninguna plantación de madera comercial se debería ubicar a más de 75 km de la planta de procesamiento (González y Navarro 1978a). Bajo estas circunstancias, es posible que una fuente continua de madera, añadida al valor del tratamiento primario y secundario, exceda el valor de los productos agrícolas, particularmente los que son de carácter marginal.

Los mejores sitios para la producción de madera pueden ya estar cubiertos con bosques naturales. Si los inventarios demuestran que estos son adecuados para cosechas futuras, la plantación es innecesaria; de otro

modo, se podría plantar bajo dosel comenzando con los mejores sitios (sitios donde se encuentran los peores rodales, suponiendo que mientras tanto, en los sitios con mejores condiciones la regeneración natural hará el trabajo).

Un problema común es la falta de una distinción clara entre terrenos forestales buenos y terrenos marginales para propósitos agrícolas, particularmente el pastoreo. Siempre que sea posible, se deben hacer distinciones muy claras, y asignar al cultivo forestal los mejores terrenos que claramente no son idóneos para la agricultura. En terrenos marginales, los cultivos forestales podrían, en un momento dado, ser destruidos por cultivos agrícolas, aún eventuales; por lo tanto, su contribución a la demanda nacional de madera es dudosa. En tales zonas, una práctica mixta — producción de alimentos, forraje y cultivos de fibra en combinación armoniosa, simultáneos o sucesivos— quizás sea la más apropiada. La cantidad de madera que estas prácticas puedan suministrar, más allá de las necesidades locales dependerá del número y calidad de los árboles en la mezcla. Con base en estos principios generales, Lupatelli (1978) elaboró ocho clases de capacidad para los suelos de Brasil (Cuadro 6-1).

En el Brasil tropical (excluyendo Paraná, Río Grande do Sul y Santa Catarina), los cultivos ocasionales

constituyen la intensidad de uso máxima aceptable en el 65 % de los suelos (Cuadro 6-2). La producción de árboles es apropiada en el 98 % de los terrenos.

Si se combinan las clases V a VII, el resumen no distingue entre terrenos para forraje y para producción de fibra, lo que podría provocar un conflicto entre los dos usos. Sin embargo, no debe de ser serio porque los requerimientos madereros actuales de Brasil, aparentemente pueden ser satisfechos con plantaciones bien manejadas en menos del 15% de los terrenos en estas tres clases. El hecho de que gran parte de Brasil, incluyendo gran parte de la Cuenca del Amazonas, se clasifica como terrenos apropiados para “el cultivo ocasional”, indica la extensión futura de la agricultura migratoria, o alguna forma de sistema agroforestal que produce árboles en combinación con otros cultivos.

Este proceso de planificación puede parecer irrelevante a un forestal encargado de plantar árboles en laderas deforestadas. Sin embargo, tal encargo a menudo no está basado en una planificación sólida, y por lo tanto puede ser erróneo. Los sitios seleccionados pueden ser demasiado pobres como para producir madera útil, o demasiado inaccesibles para cosecharla; o de repente, después de un tiempo aceptable, el sitio se reforeste de manera natural. Puede también que las especies seleccionadas no son aptas para el sitio, o inapropiadas

Cuadro 6-1.—Capacidad de uso de la tierra en Brasil

Uso sostenible	Clase de uso apropiado*							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Cultivo sin restricción	X							
Cultivo con prácticas de conservación								
Simple	X	X						
Complejo	X	X	X					
Cultivo infrecuente	X	X	X	X				
Forraje sin restricción	X	X	X	X	X			
Forraje con prácticas de conservación								
Moderado	X	X	X	X	X	X		
Complejo	X	X	X	X	X	X	X	
Bosques productivos	X	X	X	X	X	X	X	
Vegetación natural, vida silvestre	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Lupatelli 1978.

Nota: Los números romanos corresponden a las clases de uso; si bien hay diferentes definiciones, el número I corresponde a la clase más versátil y el VIII a la menos.

para el mercado eventual. Aún una revisión superficial de los aspectos de la planificación sugiere que se pueden hacer mejoras importantes. La planificación es esencial para el éxito de la plantación.

Establecimiento de plantaciones forestales. Una vez que se ha seleccionado el lugar de plantación, se debe decidir la tasa de plantación. Si el propósito es solamente proteger los recursos del suelo y agua, cuanto más pronto se termine el proyecto tanto mejor. Pero si lo que se busca es alcanzar un rendimiento sostenido de madera, o ensayar algunas técnicas, se puede comenzar plantando pequeños experimentos y gradualmente alcanzar una tasa de 1/n de la superficie por año (siendo 'n' el número de años que necesitan los árboles para madurar). El resultado debería ser una secuencia de clases de edades que producirán una cosecha anual sostenible en una fecha posterior.

La superficie del proyecto se debe dividir en compartimentos de corta, generalmente no mayores que la tasa de 1/n del área total, o sea, lo plantado en un año. Para facilitar su identificación, los compartimentos deben tener límites de características estables, como por ejemplo, arroyos, colinas, cambios identificables, caminos permanentes. Puesto que estos límites son irregulares, los compartimentos tendrán distintas superficies, pero este es un inconveniente menor, comparado con la gran ventaja de poder identificar los límites sin necesidad de construir monumentos o efectuar talas en hileras.

Se necesitará una red vial permanente que garantice el acceso a trabajadores y equipos a cada compartimento. Esta red sirve no sólo para el plantado, sino también

para las prácticas de manejo y aprovechamiento. En partes de México, estas redes de caminos son vitales para el control de incendios (González y Navarro 1978a). Quizás se necesite hasta 1 km de caminos por cada 20 ha de bosque (Mathus Morales 1978b). En la planificación de los distintos compartimentos, la accesibilidad puede ser tan significativa como la calidad del sitio.

La capacitación formal de todo el personal involucrado en la plantación es de gran beneficio para las operaciones. Todos los trabajadores deben estar al tanto de la importancia futura, tanto a nivel regional como nacional, de la plantación y sus productos; deben comprender que el éxito depende de su trabajo personal y deben saber las razones por las cuales se efectúa cada operación y la manera correcta e incorrecta de efectuarla. Se deben aceptar y usar medidas y equipos de seguridad. Los trabajadores a todos los niveles deben participar en la planificación y definición de las normas de trabajo y se les debe ofrecer incentivos por un buen desempeño, incluso en materia de seguridad. Estos temas preliminares no son superfluos y son tan críticos para los proyectos pequeños y remotos como para cualquier otro.

Los programas de plantación en los trópicos comúnmente proceden sin haber conocido y analizado otras experiencias. Como resultado, las prácticas varían de lugar a otro, aún dentro de un mismo país, sin razón aparente, aparte de la falta de comunicación. Alguna flexibilidad y variación es indudablemente sana, pero las variaciones por lo general van en detrimento de los menos informados.

Cuadro 6-2.—Extensión de terreno por tipo de uso en el trópico brasileño

Límite de uso sostenible	Clase de capacidad de uso*	Área de terreno	
		Extensión (miles km ²)	Proporción (%)
Cultivos continuos	I-III	640	8
Cultivos ocasionales	IV	4,500	57
Producción de forraje o árboles	VII	2,650	33
Cobertura de vegetación nativa	VIII	130	2

Fuente: Lupatelli 1978.

* Los números romanos corresponden a las clases de uso; si bien hay diferentes definiciones, el número I corresponde a la clase más versátil y el VIII a la menos.

Material de plantación

Material silvestre. El uso de material silvestre — plántulas presentes en los bosques— evita el costo de coseguir semillas y propagarlas en vivero, y permite una coordinación precisa entre la obtención del material y la plantación del mismo. Sin embargo, no es una práctica común pues en general no se encuentra una regeneración abundante o accesible de la mayoría de las especies. A medida que la superficie dedicada a plantaciones tropicales se expande, estos problemas podrían disminuir, pero el uso de material silvestre limita las posibilidades de mejorar los árboles mediante la selección genética, de modo que su uso quizás sea adecuado en condiciones especiales solamente.

El uso de material silvestre para plantación ha sido comprobado con muchas especies. En el este de Nigeria, por ejemplo, las plántulas de *Gmelina arborea* se adaptaron bien tanto en vivero como en el campo; en consecuencia, los viveros se cerraron y se ahorró una importante cantidad (Anón. 1958c). La regeneración de *Tabebuia heterophylla*, una especie pionera agresiva, y de *Swietenia macrophylla* se han usado extensamente en Puerto Rico. En las colinas de Malasia, la regeneración de dipterocarpaceas también se ha usado con éxito para plantaciones de enriquecimiento en los bosques (Gill 1970, Tang y Wadley 1976a).

Terminalia myriocarpa se ha propagado con éxito simplemente fomentando la regeneración natural (Das 1937). Se obtuvo un buen cultivo de plántulas talando el bosque alrededor de árboles semilleros y haciendo surcos para recibir las semillas; cuando las plántulas alcanzaron un tamaño aceptable se trasplantaron a claros del bosque. Esta práctica se consideró menos cara que la regeneración artificial convencional. Una profusa regeneración se produjo al aclarar el suelo bajo árboles remanentes de *Cedrelinga catenaeformis* en Perú (Anón. 1985h). El uso de plántulas de un mes de edad de *Avicennia officinalis* en sitios sujetos a mareas del litoral de Paquistán puede ser exitoso si al sacar la plántula no se dañan las raíces (Howlander 1971).

Adquisición de semillas. Los problemas de adquisición de semillas en los trópicos son internacionales; Kamra (1973) hablaba de los problemas en Asia, los cuales parecen ser típicos de la América tropical también. Hay necesidad de grandes cantidades de semillas, de un sistema de información que canalice las solicitudes a las mejores fuentes disponibles, y de prácticas de ensayo y

almacenaje confiables. También se necesitan servicios de certificación de semillas y técnicos capacitados.

Desde hace tiempo se ha reconocido que existen “años semilleros” para los árboles tropicales, pero en la mayoría de los casos este patrón no ha sido bien explicado ni es previsible. Como ya se dijo, la floración y fructificación de muchas especies no se correlacionan bien con el clima. Se ha supuesto que una fructificación poco usual es una reacción a la depredación de las semillas por los animales. El hecho es que para algunas especies se deben acumular las semillas de más de una cosecha durante los años en que las semillas son abundantes para producir un cultivo de plántulas.

La estación de fructificación es más regular que la ocurrencia de años semilleros. La estación es crítica para la colección, porque pocos frutos o semillas son fáciles de recoger o son viables por largo tiempo, después de haber caído. Las coníferas de México ilustran este punto (Hinds y Larsen 1961); allí los pinos están distribuidos a través de 12° de latitud, y sin embargo, la recolección de semillas se puede hacer durante dos meses aproximadamente.

El híbrido Mysore de *Eucalyptus tereticornis* de la India florece dos veces al año, de mayo a junio y de octubre a noviembre (Lohani 1978). *E. grandis* en Uganda (Kingston 1974) florece y fructifica más de una vez al año. Algunos árboles florecían o fructificaban mucho antes que los demás.

Casuarina equisetifolia de Orissa y Bombay, India, florece de febrero a abril y de setiembre a octubre; los frutos maduran entre mayo y junio, y entre noviembre y diciembre (Kesarcodei 1951g, Sharma 1951). En Puerto Rico, esta especie fructifica de enero a abril y de julio a noviembre. La mejor cosecha de conos de *Araucaria hunsteinii* en Papúa - Nueva Guinea ocurre entre fines de setiembre y principios de octubre (Havel 1965). En Yangambe, antiguo Zaire, algunas semillas de *Musanga smithii*, una especie muy parecida a *Cecropia peltata*, siempre están disponibles, pero la caída de semillas ocurre principalmente de julio a setiembre (Kesler 1950).

Estas son unas pocas ilustraciones de la variabilidad de la producción estacional de semillas de lugar en lugar y por especie. Debido a que la variación también ocurre de año en año, los tiempos de cosecha de una región no son indicios confiables para otra. Por lo tanto, se deben

compilar registros fenológicos para cada especie y región.

La necesidad de seleccionar áreas apropiadas para la recolección de semillas se reconoció desde hace tiempo (Kesarcodi 1951b). Desde luego, un requisito previo es elegir una zona donde las semillas sean abundantes. Las semillas de los pinos mexicanos, por ejemplo, son más abundantes en los bosques abiertos talados que en los bosques vírgenes (Hinds y Larsen 1961). Una consideración igualmente importante es la variación en la calidad del árbol de un lugar a otro; aún las variaciones que sólo reflejan los mejores sitios son de interés porque implican potencialidades que no necesariamente se dan en otras partes. Los buenos sitios deben estar casi libres de enfermedades. Además, si el sitio que va a ser plantado es especialmente adverso, lo mejor será recoger semillas de sitios similares, porque es posible que la tolerancia a tales condiciones varíe con la especie.

La selección de árboles madres superiores (árboles semilleros femeninos) se ha recomendado desde hace tiempo, debido a las numerosas características heredadas que afectan la calidad y rendimiento de la progenie (Kesarcodi 1951b, Tang y Wadley 1976a). Por ejemplo, las plántulas de *S. macrophylla* provenientes de semillas de árboles semilleros "plus" eran superiores a las plántulas provenientes de otros árboles, en diámetro, altura y peso seco a los diez 10 meses de edad (Zabala 1978).

En Papúa - Nueva Guinea se han seleccionado rodales de árboles plus para recolectar semillas de teca (*Tectona grandis*), por lo menos hasta que se cuente con huertos semilleros adecuados (White y Cameron 1965). Para que un rodal de teca sea aceptable como plus, debe tener al menos ocho años y un alto porcentaje de árboles vigorosos de buena forma, con un fuste comercial de al menos 12 m. Donde no hay rodales plus disponibles, los rodales mejores que el promedio se han raleado a 200 árboles por hectárea; o como última medida, se ralea un rodal promedio a 400 árboles por hectárea.

En Ghana, las semillas de algunos árboles de *Cedrela odorata* germinaron mucho antes que los lotes semilleros en general (Jones, N., 1968). Por consiguiente, la identificación y selección de tales

árboles madres podría permitir una germinación más rápida y un cultivo de plántulas más uniforme.

La selección de árboles madres que producen una gran cantidad de semillas ofrece ventajas múltiples. No solo constituyen una buena fuente de semillas, pero si además, estas son de buena calidad, su progenie también podría ser de buena calidad y prolífica en cuanto a producción de semillas.

El mejoramiento genético de árboles madres no debe iniciarse sino hasta que el árbol alcance la edad mínima en que empieza a producir semillas fértiles. Con las especies de crecimiento rápido, este período es tan corto como 2 a 3 años para *Anthocephalus chinensis*, *Leucaena leucocephala* y *E. deglupta*; de 3 a 4 años para *Ochroma lagopus* (Nair 1953); 5 años para *E. tereticornis* (Lohani 1978) y aún más para *S. macrophylla*.

La determinación del momento preciso de maduración de las semillas es crítico, tanto para los costos de plantación como para la calidad de la semilla. Cuanto más temprano se puedan recoger las semillas, tanto mejor se capitaliza la recolección en masa directamente de los árboles, lo que permite establecer con certidumbre el parentesco y previniendo pérdidas por depredación de la fauna herbívora.

El momento preciso para recoger las semillas depende de las características individuales de cada especie, y por lo tanto se deben determinar a nivel local. Con *Cedrela odorata* en Ghana, las semillas recogidas hasta un mes antes de que se abrieran las cápsulas tenían la mejor tasa de germinación, hasta 78% (Jones, N., 1968). Las semillas de *Cordia alliodora* en Costa Rica demostraron una buena germinación cuando se recogían tres semanas antes de la caída (Tschinkel 1967). En la India, las cápsulas de *O. lagopus* se han recogido apenas empiezan a abrirse (Nair 1953).

En las regiones tropicales, la práctica de recoger semillas de calidad es muy complicada, ya que requiere de equipos especiales para subir a los árboles, la separación de semillas por árbol madre, la observancia de medidas de seguridad y personal capacitado. Se debe tener el cuidado de evitar daños al árbol semillero, o de sacar demasiadas ramitas, que podría afectar la producción futura de semillas.

Tratamiento de las semillas. El proceso del limpiado de las semillas varía con la especie o grupos de especies. El primer paso generalmente es separar las semillas de los frutos, seguido por el secado al aire. Con *Cedrela*, *Pinus* y *Swietenia*, el secado al aire de los conos o frutos libera las semillas sin que se dañen, siempre que no hayan insectos y roedores. Con *Casuarina equisetifolia*, un problema grave es la pérdida de semillas por las hormigas.

Las semillas del bambú, debido al ataque inmediato de las aves, roedores, insectos u hongos en el suelo, se deben sacudir sobre una sábana y tratarlas con pesticidas, antes de secarlas (Hadfield 1958).

La limpieza de semillas muy pequeñas presenta problemas especiales. Las semillas de *Eucalyptus* generalmente se extraen de las cápsulas secas y dejan con fragmentos de las paredes interiores del carpelo. Pequeños lotes de las semillas sedosas de *O. lagopus* se pueden colocar en un tamiz grueso sobre el agua para luego prenderles fuego y liberar las semillas (Holdridge 1940b). Esta práctica podría, a la vez, aumentar la germinación. Las semillas de *Anthocephalus chinensis*, 17 000 por gramo (Pollard 1969), generalmente se recogen en Sabah a medida que caen los frutos, se les deja suavizar y luego se les macera. Para extraer las semillas, los frutos macerados se frota en un tamiz grueso y se muelen en un mortero, luego las semillas se separan con un tamiz fino y se secan al aire.

La clasificación de semillas en el neotrópico está en su infancia. Naturalmente, se necesitan estándares de pureza y viabilidad; sin embargo, existen otros importantes criterios, como el tamaño. Aunque en la India (Venkataramany 1960a) algunos ensayos no mostraron superioridad para las semillas de las grandes tecas, en México los ensayos con *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* han demostrado que el tamaño de la semilla afecta la altura del plantón, el diámetro de los hipocotiledones y el largo de los cotiledones (Caballero Deloya y Toral Chacón 1967). Estas diferencias resultaron ser más pronunciadas después del segundo mes.

La certificación de las semillas por una autoridad calificada es esencial para efectuar plantaciones forestales responsables. Tales certificaciones deben especificar lo siguiente: especie, variedad y procedencia; normas de selección de los árboles; fecha y región específica donde se colectó la semilla;

porcentaje de pureza, contenido de humedad, cantidad de semillas por unidad de peso y registro de germinación más reciente dando la fecha y la técnica usada. También se debe especificar que las semillas están libres de enfermedades e insectos, indicando la fecha y tipo de fumigación aplicada.

Un procedimiento estándar para el ensayo de semillas, usado en Malasia para *P. caribaea*, es de utilidad general (Paul 1972). Se evalúan cinco atributos: 1) proporción de semillas aparentemente llenas (porcentaje de pureza), 2) cantidad de semillas puras por kilogramo (peso de semillas), 3) proporción de semillas que contienen núcleos (porcentaje de semillas llenas), 4) contenido de humedad de las semillas puras, 5) proporción de semillas que germinan. Los ensayos de germinación se pueden hacer sobre papel secante, un género absorbente, o un sustrato de arena de cuarzo pura, con un pH de 6,0 a 7,0 (Paul 1972). El tamaño común de una muestra es de 400 semillas, divididas en 4 submuestras de 100 cada una.

Almacenaje de las semillas. Debido a la variabilidad e incertidumbre de la producción de semillas, se debe mantener un inventario, siempre que sea posible, para el año siguiente; en consecuencia, la viabilidad de las semillas se debe mantener al menos durante ese tiempo. ¿Cómo se puede lograr eso? Los ensayos efectuados en los trópicos confirman los descubrimientos de la zona templada, en cuanto a que el control de la temperatura y humedad son esenciales para prolongar la viabilidad de las semillas de la mayoría de las especies.

Las semillas de algunos árboles tropicales tienen una larga vida bajo almacenaje. Existen registros de semillas de *L. leucocephala* que han germinado después de 99 años, *Albizia lebbek*, después de 30 años, *O. lagopus*, después de 24 años (Dent 1942b). Sin embargo, la mayoría de las semillas (particularmente las de los trópicos húmedos) pueden perder su energía germinativa en unos meses.

Evans (1992) menciona dos aspectos en relación con las temperaturas de almacenamiento de semillas: 1) las temperaturas cercanas al punto de congelación generalmente prolongan la viabilidad, 2) las fluctuaciones de la temperatura son menos favorables que las temperaturas constantes. Además, citando a Turnbull (1972b), afirma que las semillas que se secan naturalmente pueden aguantar temperaturas altas mucho mejor que las semillas con un alto contenido de

humedad. Evans indicó que las semillas de ciertos pinos y eucaliptos, secadas hasta un contenido de humedad del 4 al 8%, mantienen su viabilidad durante muchos años, si se almacenan a temperaturas por debajo del punto de congelación; no obstante, la mayoría de las semillas se almacenan a 2-5°C.

Las semillas de *Anthocephalus chinensis* en Sabah, generalmente mostraron pobre germinación, a menos que se almacenen durante 6 meses (Pollard 1969). Las semillas secas al aire, selladas y almacenadas a 5-10°C, mantuvieron su viabilidad durante dos años, pero no las que no se sellaron.

Las semillas de *Araucaria hunsteinii* perecieron en menos de un mes al aire libre y a la temperatura ambiente (Anón. 1958a, Havel 1965). Pero cuando las semillas se secaron, sellaron y mantuvieron a 3°C, la viabilidad del 50% persistió hasta los 12 meses. Bajo estas mismas condiciones de almacenaje, y usando papel secante para humidificarlas, se obtuvo una germinación del 50%, después de 18 meses. Las semillas de *C. equisetifolia* almacenadas en recipientes abiertos en la India mantuvieron su viabilidad por no más de 12 meses (Sharma 1951).

En Mérida, Venezuela, semillas de *Cedrela odorata* almacenadas a temperatura ambiente empezaron a perder viabilidad hacia el cuarto mes, y para el décimo mes toda la viabilidad se había perdido (Lamprecht 1956). Almacenadas en recipientes abiertos, pero a 5°C, la declinación no empezó hasta después de 12 meses; cuando se sellaron y se mantuvieron a temperatura ambiente, la declinación empezó entre cuatro y seis meses después, y sólo el 25% germinó después de 14 meses. Las semillas selladas y a 5°C, mantuvieron la tasa inicial de germinación hasta los 14 meses. El 50% de las semillas de *Cordia alliodora*, selladas con un contenido de humedad del 12 al 18% y almacenadas a 5°C permanecieron viables después de un año (Tschinkel 1967).

Las semillas de las dipterocarpaceas son relativamente perecederas. Las semillas de dos especies de *Shorea*, que normalmente son viables durante sólo una semana, se almacenaron con éxito durante 3 o 4 semanas al reducir el contenido de humedad de 40% a 20 - 25%, y almacenándolas luego a 16°C (Tang 1971).

En Nigeria, los ensayos demostraron que al reducir la temperatura hasta casi 0°C, la viabilidad de las semillas

de *Khaya grandifolia* y *K. ivorensis* se extiende de 6 semanas a 3 años, *Entandrophragma angolense* de 6 semanas a 6 años y *Triplochiton schleroxylon* de 4 semanas a 2 años (Olatoye 1967).

Las semillas de *Ochroma lagopus* en la India, se almacenaron con éxito hasta 18 meses en recipientes sellados (Nair 1953). Las semillas de *P. merkusii* en Filipinas, se deterioraron 3 a 4 meses después a temperatura ambiente (Gordon et al. 1972), pero almacenadas a 2°C y con un contenido de humedad del 6 a 10% permanecieron viables hasta tres años. La aplicación de calor seco durante cinco minutos a semillas frescas de *O. lagopus* resultó en las siguientes tasas de germinación: con 30°C, 3%; 55°C, 19%; 76°C, 70%; 96°C, 78%; 115°C, 42%; y 135°C, 1% (Vázquez-Yanes 1974). Al hervir las semillas de *O. lagopus*, no sólo aumentó la germinación, sino que también se obtuvieron mejores resultados después del almacenaje (Cuadro 6-3).

Las semillas de *Swietenia macrophylla* típicamente permanecen viables casi tres meses al aire libre; pero a 5°C, la viabilidad se mantiene por casi un año. Un ensayo en Filipinas demostró los posibles beneficios del almacenamiento sellado bajo tierra (López 1938). A los 24 años, la tasa de germinación fue de 90%, comparado con 86% para almacenaje abierto sobre tierra; pero después de 132 días, la germinación fue de 72% para las semillas almacenadas bajo tierra, en comparación con 4% para las almacenadas sobre tierra.

El uso de una solución del 0,1% de ácido hidroclórico hasta por 20 minutos para esterilizar las semillas de *P. caribaea* no las dañó (Hong y Ivory 1974). El sumergimiento durante cinco minutos aumentó la germinación seis meses después en un 20%.

Factores de germinación de semillas. La germinación de las semillas de la mayoría de especies de árboles tropicales no presenta problemas especiales. La germinación empieza unos pocos días después del sembrado y pronto se completa (Cuadro 6-4). *Leucaena leucocephala* es una excepción, sin embargo, debido a que algunas semillas son muy duras, la germinación puede tardar entre uno y cuatro años, según lo indican experiencias en Hawai (Akamine 1952). Las semillas frescas de esta especie germinan a una razón de 44 a 80% en cuatro meses y de 73 a 80% en ocho meses.

La mayoría de las semillas de *Anthocephalus chinensis* germinan en cuatro a catorce días (Pollard 1969).

Cuadro 6-3.—Efectos sobre la viabilidad de la inmersión de semillas de *Ochroma lagopus* en agua hirviendo

Inmersión (segundos)	Tiempo de almacenaje (% germinación)		
	1 año	2 años	3 años
0	2	6	3
15	84	80	67
120	78	71	64
240	60	64	56
480	57	65	56
960	25	44	38
1,920	5	6	2

Fuente: Vazquez-Yanes 1974.

Debido a su pequeño tamaño, deben ser comprimidas en el suelo húmedo, protegidas de la lluvia con coberturas de vidrio e irrigadas frecuentemente. Las semillas de *Swietenia macrophylla* típicamente germinan entre 13 y 27 días después de haber sido sembradas (Araujo 1970). La germinación de semillas de bambú, generalmente lleva de 2 a 6 semanas (Hadfield 1958).

El potencial de germinación de la mayoría de las especies forestales tropicales es alto, 85% o más (Araujo 1970). Sin embargo, si las semillas se maltratan durante la recolección o fumigación, o se secan demasiado tarde, la germinación puede reducirse drásticamente. Para *Pinus merkusii* se registraron germinaciones típicas de sólo el 10% (Anón. 1971b), pero al mejorar la manipulación la tasa aumentó a más del 90%.

La latencia de las semillas se debe entender bien, si no se quiere tener tropiezos con la germinación. Se reconocen tres tipos de latencia de las semillas (Chapman y Allan 1978).

- Latencia exógena, relacionada con propiedades de la envoltura de las semillas (mecánica, física o química)
- Latencia endógena, regida por las propiedades del embrión o endospermo (morfológica o fisiológica)
- Latencia combinada, causada por una combinación de las dos anteriores.

Cuadro 6-4.—Tiempo de germinación de semillas de especies arbóreas de Zambia

Especies	Germinación (días después del sembrado)
<i>Araucaria cunninghamii</i>	7–19
<i>Callitris</i> spp.	21–57
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	10–38
<i>Cryptomeria japonica</i>	20–83
<i>Cunninghamia lanceolata</i>	11–21
<i>Cupressus lusitanica</i>	21–63
<i>Eucalyptus deglupta</i>	19–117
<i>E. grandis</i>	7–54
<i>Pinus elliottii</i>	7–31
<i>P. kesiya</i>	9–46
<i>P. patula</i>	10–45
<i>P. taeda</i>	10–90
<i>Tectona grandis</i>	12–38

Fuente: Barrett 1973.

Algunas especies presentan postmaduración de las semillas (continúan madurando después que se separan del árbol). En lo que hoy es Sri Lanka, las semillas de nueve meses de *Tectona grandis* germinaron mucho más rápido que las semillas frescas (Fernando 1965), y un almacenaje de hasta 18 meses aumentó la germinación aún más (Wood 1968). En la India también se registró postmaduración de semillas de teca (Gupta y Pattanath 1975). Se descubrió que la dormancia de las semillas estaba influenciada por un inhibidor de la germinación en el mesocarpio, soluble en agua. La germinación de semillas de *L. leucocephala*, cuatro meses después del sembrado, fue del 80% con semillas de seis meses de edad, y del 50% con semillas frescas (Akamine 1952). Sin embargo, a los 12 meses, los dos grupos tuvieron las mismas tasas de germinación. La mayoría de las semillas, sin embargo, incluso las de *Cecropia negra* en Venezuela (Lamprecht 1955), se pueden sembrar de inmediato con resultados satisfactorios.

Algunas especies intolerantes no germinan en la oscuridad. Un ejemplo es *Musanga smithii*, una contraparte africana de *Cecropia*, que alcanza hasta un 90% a plena luz (Adkoesoema y Kiamil 1955). Otras intolerantes, por el contrario, germinan bien en la oscuridad; tal es el caso de *O. lagopus* (Vázquez-Yanes 1974), sin embargo, la temperatura del almacenaje es crítica para esta especie. Cuando las semillas se

someten a 24 horas a temperatura constante a 16, 26 y 36°C, la germinación de *O. lagopus* no excedió el 4%, con o sin luz; pero con 20 horas a 25°C y 4 horas a 45°C, la germinación aumentó a 63-65%, sin tomar en cuenta la luz. En lo que hoy es Belice, los observadores concluyeron que, en la naturaleza, las semillas de *O. lagopus* germinan después de los incendios (Stevenson 1940).

Las semillas de *A. chinensis* en Costa Rica germinaron mejor bajo un techo opaco de metal que bajo un techo de plástico transparente (González y Grijpma 1968). Se supone que la luz, temperatura y humedad estaban involucradas, pero parece que la luz no es de naturaleza crítica para la germinación de esta especie.

El remojo previo de las semillas para estimular la germinación es común en las zonas tropicales. El hecho de remojar las semillas de *P. caribaea bahamensis* de 24 a 60 horas supuestamente aumenta su energía germinativa (Anón. 1972c). El remojo previo de las semillas de teca durante 48 horas se ha practicado en la India durante un siglo o más (Laurie 1937). El remojo y secado diario durante tres semanas o más resultó en una germinación alta y puntual (Bannerjee 1942); otra práctica común es remojar las semillas durante 72 horas antes de sembrarlas (Wood 1968).

El agua caliente estimula la germinación de algunas semillas. *Prosopis juliflora* y varias especies de *Acacia*, por ejemplo, aumentan sus tasas de germinación si se coloca las semillas en agua hirviendo y se las deja enfriar a temperatura ambiente (Chapman y Allan 1978, Chaterji y Mohnot 1968); el remojo a 100°C por más de una hora, en cambio, resultó fatal. El remojo de las semillas de *Paraserianthes falcataria* en agua a 38°C durante diez minutos elevó el porcentaje de germinación de 36 a 72% (Valencia 1973). Las semillas de *L. leucocephala* en la India alcanzaron una germinación del 85%, cuando se las hirvió brevemente en agua y luego se las dejó en remojo durante un período de 24 a 48 horas (Chaturvedi 1981).

La escarificación mecánica (raspado o rayado de la envoltura de las semillas) estimula la germinación de algunas semillas. Las semillas de *Prosopis juliflora* —el 40% de las cuales se clasifican como duras— sacudidas en una botella dos veces por segundo durante 15 minutos, aumentaron su tasa de germinación del 60 al 97% (Nambiar 1946). El sacudirlas durante cinco minutos produjo una germinación del 93%.

Ensayos con *T. grandis* en Tailandia (Keiding *et al.* 1966) demostraron que si se quita el exocarpio de los frutos y se exponen a las hormigas durante 1 o 2 semanas se acelera la germinación. En un ensayo en la India, el endocarpio se removió cortándolo en cuatro con un cuchillo fino, y se aplicó luego un fungicida; el resultado fue una germinación rápida (Dabral 1976). Los ensayos de nueve tratamientos mecánicos para semillas de teca, sin embargo, arrojaron resultados tan inconsistentes que se recomendaron mayores estudios (Muttlah 1975).

Una especie tropical americana, *Hernandia sonora*, normalmente tiene una tasa de germinación de casi 18% en cinco meses (Anón. 1952l), pero si se perforan los endocarpios, la germinación puede sobrepasar el 80% en dos meses.

La escarificación con ácido (generalmente ácido sulfúrico concentrado, H₂SO₄) acelera la germinación de las semillas duras. Ensayos con *L. leucocephala* en la India dieron buenos resultados después de 20 a 40 minutos de remojo en ácido sulfúrico concentrado (Ramdeo 1971). Las semillas de *Acrocarpus fraxinifolius* normalmente tiene germinaciones muy bajas (0,3%) después de 18 horas de remojo en agua, pero después de un tratamiento de diez minutos en ácido sulfúrico concentrado germinaron hasta 90% (Rai 1976).

Siembra directa. La siembra directa de semillas, dispersa o concentrada, puede costar de un tercio a la mitad de la producción en un vivero (Thomson 1968). Con algunas especies, incluso muchas de semillas grandes, se prefiere esta técnica debido a la sensibilidad del plantón al ser trasplantado a raíz desnuda; por ejemplo, *Calophyllum calaba*, *Hymenaea courbaril* y *Manilkara bidentata*. La supervivencia puede ser pobre, sin embargo. Donde las semillas son escasas o caras, el sembrado por dispersión de semillas no es práctico, porque tiende a producir densidades irregulares que requieren un raleo temprano de grupos densos.

La siembra directa es mucho menos común que la plantación en los trópicos. Esa técnica puede ser más cara debido a que requiere más cortas de malezas; sin embargo, bajo ciertas condiciones es práctico. Ensayos con *Eucalyptus saligna* en Australia han demostrado que la siembra directa en terrenos quemados puede producir una regeneración abundante (Elliott 1956). *Senna siamea* en la India se establece de esta manera en bosques de leña y forraje, particularmente en la estación

lluviosa (Guiscafre 1961, Prasad 1944b). Esta especie tiene la reputación de crecer a través del pasto *Imperata* en Malasia y eliminarlo. *Imperata* también ha sido controlado en Filipinas con la siembra directa de *L. leucocephala* (Buenaventura 1958). Al comienzo de la estación de lluvias, el pasto se quema para reducir la población de roedores que se comen las semillas del árbol. Luego, se dispersan las semillas a mano o desde el aire, o se siembran en surcos aclarados o en sitios marcados. Cada 3 a 4 meses durante el primer año se limpia de malezas y luego dos veces al año. Los incendios se deben evitar durante dos años, después los árboles se vuelven resistentes al fuego (Pendleton 1934). En un ensayo de siembra aérea sobre un denso pasto *Imperata* a fines de la estación, se encontraron 2,5 a 5 plantones por metro cuadrado (San Buenaventura y Assidao 1957).

En las regiones áridas de la India, esta técnica ha sido de uso común. *Prosopis juliflora* se ha sembrado en zanjas para establecer plantaciones de leña y forraje (Singh 1951); también se la ha establecido con éxito desde el aire en arenas inestables (Singh 1954). Otras especies con las cuales el sembrado directo ha tenido éxito son: *Acacia auriculiformis*, *A. catechu*, *Anacardium occidentale*, *Azadirachta indica*, *Bauhinia* spp. y *G. arborea* (Goswami 1957). La siembra directa de 2 o 3 semillas de *G. arborea* en 5200 montículos por hectárea mostró al año una supervivencia de 72%, a pesar de una precipitación anual de sólo 140 cm (Sábado y Asunción 1970).

En Zambia, la siembra directa de *E. citriodora* y *E. saligna* ha sido exitosa sólo bajo ciertas condiciones (Edean 1966). El sembrado se debe efectuar muy a principios de la estación lluviosa, después de una quema intensa. En África, *Cedrela odorata* muestra un crecimiento en altura rápido y adecuado cuando se la siembra directamente en hileras aclaradas (Lamb 1969b).

En el hemisferio occidental, *Calophyllum* spp. y *G. arborea* se siembran de manera directa en Brasil, y *O. lagopus* en Ecuador. En el último caso, para controlar el crecimiento de malezas, se protege el área alrededor de la semilla con plástico. La siembra directa de *Cupressus lusitanica* también ha tenido éxito en sitios bien aclarados y húmedos (Holdridge 1953). *S. mahagoni* fracasó en bosques secos de Puerto Rico debido a sequía extrema, que mató los plantones de hasta dos años. La siembra directa de *P. elliotii* en el sur de

Estados Unidos requiere la quema de la vegetación o el arado por discos (Mann 1958). En Monte Dourado, Brasil, después de años de plantar *G. arborea* en viveros a gran escala, al aparecer una regeneración natural abundante producida por semillas caídas bajo las plantaciones, se comenzó a efectuar un sembrado directo como práctica estándar en todos los sitios que habían sufrido quemadas (Woessner 1980a). En 1980, el sembrado directo de dos semillas por golpe había tenido éxito en una zona de 1500 ha.

El largo período de limpieza de malas hierbas que la siembra directa requiere limita su uso, aún con especies que de otro modo serían muy aptas para esta técnica. Un ejemplo se ve en Colombia, donde la siembra directa de *C. lusitanica* y *P. patula* tuvo buen resultado, pero el costo de las limpiezas hizo que la siembra directa fuese más cara que el plantado (Gutiérrez y Ladrach 1978).

El futuro de la siembra directa parece depender de un control barato de la vegetación competitiva y de las plagas. A medida que se mejoran los repelentes, la técnica podrá ser más extensivamente usada en los trópicos (Stuart Smith 1968).

Viveros forestales. Donde el uso de material silvestre o la siembra directa no son prácticos, se necesitan viveros. Estos pueden variar de unas pocas camas simples de uso provisional, a operaciones permanentes, muy organizadas y técnicamente avanzadas. Unas pocas consideraciones principales se detallan aquí. Liegel y Venator (1988) han publicado una guía técnica para el manejo de viveros forestales.

El sitio ideal para un vivero debe: 1) estar cerca de los sitios de plantación, 2) estar bien ubicado en términos de transporte y acceso a la mano de obra, 3) tener un suministro continuo de agua de buena calidad y 4) tener un suelo bien drenado y trabajable, ya sea para establecimiento directo, o para llenar recipientes (Fig. 6-2). El sitio del vivero debe ser lo suficientemente grande como para acomodar la producción actual y anticipada. Debe haber un lugar seguro donde guardar las semillas, herramientas y equipos necesarios. Generalmente se necesita un lugar bajo sombra parcial, protegido de la lluvia para la germinación y desarrollo inicial de los plantones.

La elección del momento oportuno es esencial cuando se maneja un vivero tropical. Las operaciones del vivero



Fig. 6-2.—Preparación de un pequeño vivero forestal típico en el campo en Guatemala.

se deben planear para cumplir con las fechas en que se propone efectuar el plantado. Si la época de plantar es de varios meses se necesitará un flujo continuo de existencias que maduren durante el período, por lo que todos los escalones previos se deben planear en consonancia. Las consideraciones que rigen el momento oportuno de las operaciones del vivero forestal son las siguientes:

- El largo máximo de la época de plantar cada especie forestal, planeando el plantado de acuerdo con las condiciones favorables del sitio.
- El período de producción desde el sembrado hasta el levantamiento, junto con las posibles variaciones mediante el uso de estimulantes, tales como tratamiento pregerminativo de las semillas, uso de plántulas como sustitutos de trasplantedo, sembrado directo en envases, enriquecimiento del suelo y tamaños de las existencias de mayor a menor.
- El almacenaje de las semillas desde la caída hasta el período de siembra.
- La adquisición anticipada de las semillas, ya sea de fuentes locales o lejanas.

Una vez que se han organizado estos pasos que dependen del tiempo, se pasa a las tareas estacionales menores, como preparación del suelo y adquisición de materiales y equipos, durante los períodos de menor trajín. El momento oportuno también puede estar

influenciado por la disponibilidad estacional de trabajadores agrícolas.

Propagación vegetativa

El uso del material vegetativo en vez de semillas para la propagación de árboles es ventajosa bajo ciertas circunstancias. En Ghana, resultó ser la única manera de propagar a *Triplochiton scleroxylon* durante años de producción irregular de semillas (Nkansah-Kyere 1970). El crecimiento en altura de esquejes arraigados con hormonas fue igual al crecimiento de rebrotes y brinzales, durante al menos los primeros cuatro años.

La propagación vegetativa es más confiable para controlar las características genéticas de los propágulos. Debido a que la semejanza entre los rametos (ramets) y ortetos (ortets) es probablemente mayor que la semejanza entre la progenie y sus padres, la propagación vegetativa aumenta el potencial para la mejora genética de los árboles (Squillace 1970).

Debido a su mayor semejanza a los padres, los árboles producidos por propagación vegetativa (asexual) no se asemejan a las plántulas. Por ejemplo, *P. radiata* a partir de esquejes en Australia creció más rápido en altura durante ocho años que a partir de semillas (Fielding 1970). Los esquejes también tenían una corteza más delgada, menos declinación en la parte inferior del tronco, copas menos densas y raíces más gruesas y pesadas. Estas diferencias se atribuían al traspaso de las propiedades asociadas a la edad del árbol padre o a la etapa de desarrollo del vástago. En EE.UU., árboles de 12 años de *P. elliotii* producidos a partir de acodos aéreos no diferían significativamente de árboles crecidos a partir de plantones, en términos de crecimiento de brotes y superficie abarcada por las raíces, pero carecían de raíz primaria (Schultz 1972).

Muchas especies de árboles tropicales han sido reproducidas vegetativamente, proporcionando grandes oportunidades para la mejora genética del árbol. Ya en 1953, según los informes, 74 especies se estaban reproduciendo por esquejes en la India, 104 por rebrote de raíz, 11 por acodo aéreo (induciendo el desarrollo de las raíces en la parte aérea de la planta), y 9 por rebrotes y esquejes (Rao 1953).

Bajo condiciones favorables, la propagación vegetativa puede tener éxito en la producción en masa de *Eucalyptus*, *Triplochiton* y muchos otros géneros tropicales (Heybroek 1978). Todos los árboles parecen tener una

etapa juvenil, durante la cual les es más fácil arraigarse que en cualquier otra. Se han desarrollado clones con características genéticas idénticas, como resultado de la propagación vegetativa de eucalipto en gran escala.

Leakey (1978) temía que una técnica forestal a base de clones resultaría en bosques grandes biológicamente uniformes, sensibles al riesgo de plagas, enfermedades y otros peligros, y abogó por que se mantuviera la diversidad genética, usando grandes cantidades de clones para reducir los riesgos. Al seguir produciendo nuevos genotipos continuamente, la diversidad puede, en efecto, ser mantenida más efectivamente que un bosque o vivero forestal a base de semillas. Leakey previó la selección de clones para un único producto a partir de especies agroforestales de uso múltiple.

Esquejes de tallo y raíz. Los primeros intentos de propagar árboles de modo vegetativo fueron mediante esquejes (secciones de ramas pequeñas) que se clavaban en el suelo y se mantenían bien irrigados. *Ceiba pentandra* arraigó bien mediante este método en Filipinas (Pacumbaba 1939-1940), y también *Cedrela odorata* a partir de esquejes de 5 a 15 cm de diámetro (Castro 1951). Sin embargo, ensayos en Ghana demostraron que no se podía confiar en el arraigo de esquejes de árboles de nueve años de esta especie, aún cuando los esquejes fueron tratados con hormonas (Britwum 1970). Ensayos en Taiwán con *C. sinensis*, una especie similar, arrojaron luz sobre esta variabilidad (Huang 1967). Los esquejes cortados entre enero y febrero produjeron un promedio de brotes de 94 a 96%; 90% los cortados en marzo; 83% los de abril; 31% los de mayo y 22% los de junio. Se llegó a la conclusión que los brotes eran más vigorosos antes de comenzar el crecimiento terminal. La supervivencia también fue afectada de forma similar por la estación en que se clavaban los esquejes: 35% en enero, 55% en febrero, 32% en marzo y abril, 20% en mayo y 14% en junio. Los primeros esquejes también resultaron superiores en cuanto al crecimiento en altura y diámetro y desarrollo de raíces. Los esquejes tomados de la base de los árboles alcanzaron una tasa de supervivencia del 83%, en tanto que los provenientes de las ramas alcanzaron 65%. El uso de hormonas mejoró el promedio de supervivencia de 63 a 72%.

Casuarina junghuhniana, una especie de Java, extensamente usada en Tailandia e introducida en la India, es capaz de brotar a partir de los esquejes (Thirawat 1953).

Las coníferas son difíciles de reproducir mediante esquejes. Sin embargo, un ensayo con esquejes de ramas de *Araucaria cunninghamii* en la India detectó la formación de raíces en el 50% de los esquejes y una tasa de supervivencia de 17% al año de iniciado el ensayo (Dabral 1961).

El alto costo de limpiar las semillas de *Prosopis juliflora* en la India hizo que se iniciaran ensayos con esquejes de plántulas silvestres de casi 1 m de altura y 2 cm de diámetro en el cuello de la raíz, los cuales brotaron y sobrevivieron en forma satisfactoria (Kaul 1956).

Esquejes de *Eucalyptus deglupta* se pueden arraigar fácilmente en agua, y se han registrado tasas de hasta 90% (Davidson 1973c). Sin embargo, el éxito del arraigo depende muchísimo de la edad del orteto (ortet). Casi todos los esquejes tomados de las puntas de árboles de hasta 12 meses de edad arraigaron, pero ninguno de los tomados de árboles de cinco años (Davidson 1974). Se ha descubierto que los esquejes de la mayoría de las especies de eucaliptos no producían raíces una vez que la planta había ya pasado la etapa juvenil (Pryor 1978).

Los esquejes de tallo de *Eucalyptus* se han usado a gran escala en Aracruz, Brasil con *E. grandis* y *E. urophylla* (Ikemori 1975, 1976). Estos esquejes tienen dos pares de hojas.

Los esquejes de muchas especies echan raíces con la misma rapidez, independientemente de si se irrigan sólo con agua, o se usan también hormonas. Las ramas superiores de *P. caribaea* en Uganda mostraron un comportamiento satisfactorio con agua (24 - 26%) y con hormonas (Tufuor 1973). La efectividad de los tratamientos de hormonas pueden variar con la sustancia química o la concentración. Los ensayos normalmente comparan más de una concentración de hormonas; sin embargo, el ensayo de *P. caribaea hondurensis* en Brasil con los ácidos indolbutírico e indolpropiónico no mostró diferencias en la efectividad de los niveles prescritos (Brandi y de Barros 1971).

En Costa Rica, *Acrocarpus fraxinifolius*, *Tabebuia rosea* y *Toona ciliata australis* arraigaron exitosamente con fitorreguladores (Zanoni Mendiburu 1975). Los fracasos incluyeron a *Cordia alliodora* y *Swietenia macrophylla* (aunque arraigaron con éxito en otras partes), *Cedrela odorata* y *Simaruba amara*.

Los esquejes de raíz quizás sean superiores a los de tallo. La especie de la zona templada *Albizia julibrissin* no raicea a partir de esquejes de tallo, pero sí de esquejes de raíz de 2 cm de diámetro y 8 cm de largo (Fordham 1968); los brotes juveniles también fueron fáciles de arraigar. El uso de esquejes de raíz más largos (hasta 30 cm) produjeron una mayor cantidad de brotes. Los brotes de tocón también tuvieron mayor éxito en arraigar que los brotes de tallo, en el caso de *Eucalyptus* (Pryor 1978).

En Papúa - Nueva Guinea, una técnica para la reproducción de *E. deglupta* mediante esquejes tuvo un éxito del 90% (Davidson 1973c). Se espera que esta y otras prácticas usadas en Brasil se aplicarán más generalmente y aumentarán significativamente la productividad de las plantaciones de estas especies.

Acodado aéreo. Donde la propagación por esquejes de tallo o de raíz es difícil, el acodado aéreo puede tener éxito. Este consiste en cortar la corteza exterior del tallo y cubrir el área con un material que guarde la humedad hasta que broten las raíces y se pueda efectuar la separación. Los empeños iniciales de efectuar acodados aéreos con 42 especies de árboles forestales tropicales en la India tuvieron éxito (se obtuvieron raíces en el 40% de los casos o más) con *Casuarina equisetifolia*, *C. cunninghamiana*, *Chickrasia tabularis* y *T. ciliata*; *Araucaria cunninghamii* y *Tectona grandis* raicieron sólo entre 10 y 20% (Kadambi y Dabral 1954). Las ramas inferiores de *Casuarina junghuhniana* también se acodaron con éxito (Thirawat 1953).

La diferencia entre árboles jóvenes y viejos es la misma para el acodado que para los esquejes, en el caso de *P. elliotii* (Hoekstra 1957). Esta diferencia fue pronunciada entre árboles de 6 y 23 años de edad. Con *P. roxburghii* en la India, se determinó que el acodado aéreo se debía hacer en el crecimiento del año anterior, justo debajo del brote apical (Chaudhuri 1960); esta técnica fue más exitosa si se hacía cuando los brotes apicales apenas se estaban abriendo en enero. Las raíces empezaban a brotar alrededor de los tres meses y alcanzaban el tamaño adecuado a los seis meses. En otro ensayo en la India, se obtuvieron éxitos del 100% para *P. roxburghii* en abril y mayo y para *P. caribaea* en junio; se determinó que las ramas de dos años eran superiores a las de un año (Kedharnath y Dhaundiyal 1963). Ensayos de acodados aéreo en Venezuela mostraron que no había problema en usar árboles de ocho años de *P. radiata* y de 3,5 años de *P. oocarpa* (Melchior 1963). El

uso de ácido indolbutírico aceleró la formación de raíces.

Injertos y producción de yemas. La dificultad de propagar muchas especies por esquejes ha conducido al ensayo con injertos, insertando una yema o un tallo terminal en el cambium de un tocón arraigado, como se hace comúnmente con árboles frutales u ornamentales. Esta técnica tuvo éxito con *Ceiba pentandra* en Filipinas hace bastante tiempo (Pacumbaba 1939-40).

En Venezuela se injertó con facilidad *P. radiata* en patrones de *P. oocarpa* de 8 y 3,5 años (Melchior 1963). Se desarrollaron injertos de *P. caribaea* en el campo cubriendo con plástico el injerto insertado en el brote apical (Nikles 1965). Esta técnica mejoró el promedio de éxito de los injertos del 66 al 91%. El uso de la cubierta de plástico permitió el uso de púas en estado de dormancia, que eran hasta 37% inferiores a las púas en crecimiento activo, y que el injerto se efectuara en cualquier momento del año.

Este tipo de injerto tuvo éxito con *Araucaria* en el este del África, un descubrimiento importante debido a la falta de semillas en la región (Willan y Salimu 1966). La púa debe provenir de una rama apical para producir un crecimiento vertical. Se encontró que la decapitación producía múltiples brotes adecuados para injertos. También se desarrollaron injertos interespecíficos con *Cupressus* (Dyson 1967).

Las experiencias en Australia con *P. elliotii* demostraron que los injertos eran muy satisfactorios en vista del fracaso de los esquejes (Slee 1967a). Bajo condiciones favorables, los injertos en brote apical y en rama lateral (injerto insertado en el costado de una rama terminal) resultaron satisfactorios; los injertos de botella (injerto lateral, pero la base de la púa se mantiene en un envase con agua) tuvieron mejores resultados en condiciones difíciles. La protección contra la desecación es importante, por lo que no es conveniente hacer los injertos durante los meses estivales. Los árboles jóvenes y viejos rindieron los mismos resultados, sin que el uso de auxinas, lavado basal y sustancias inhibitorias de la transpiración produjera ninguna ventaja.

Se registraron injertos de brote apical para ocho especies de *Eucalyptus* en Nueva Zelandia (Thulin y Faulds 1962), las cuales arraigaron entre 80 y 100%. *Eucalyptus deglupta* se injertó con éxito mediante la técnica de botella en Papúa - Nueva Guinea (Davidson

1968). Con esta especie, los injertos de botella y de brote apical frecuentemente eran incompatibles, un problema que fue eliminado mediante el uso de injertos en parches (Davidson 1973a). La incompatibilidad siguió siendo un problema para muchas especies tropicales, sin embargo, lo que requirió el remplazo de muchos árboles en los huertos semilleros (Pryor 1978).

Se ensayaron injertos de *S. macrophylla* durante cuatro estaciones en Taiwán, que demostraron que el injerto es sensible a la estación; la mejor época para los injertos fueron los primeros diez días de marzo (Liou 1969). Las púas se remojaron en una de tres soluciones de hormonas (50 ppm de ácido indolbutírico, naftalina o ácido indolacético) durante dos horas, los días 10 y 30 de marzo. La supervivencia para todos los tratamientos fue del 80% o más.

La producción de yemas en teca de un año de edad en vivero ya era promisorio desde 1960 (Keiding y Boonkind 1960). Las yemas de tocones de teca en vivero, colocados bajo rocío, alcanzaron una tasa de arraigado de casi el 100% sin hormonas (Hussain *et al.* 1976). Las yemas usadas tenían dos o tres pares de hojas cuando se cortaron. Los injertos de teca en plantas de nueve meses alcanzaron un éxito del 100% en Sri Lanka (Perera 1961).

Otras prácticas para la propagación de árboles. El uso de cultivo de tejidos, crecimiento y multiplicación de parénquima en un medio artificial, parece ser muy prometedora para la propagación vegetativa. Se ha ensayado con varias especies arbóreas en Filipinas (Crizaldo 1980), y se han obtenido resultados prometedores con *Paraserianthes falcataria*, *G. arborea*, *P. caribaea* y *P. kesiya*.

Skolmen (1985) indica que aunque el cultivo de tejidos tiene el potencial de producir cantidades enormes de plantas muy rápida y efectivamente, hasta ahora ha sido exitoso sólo con especies que se pueden propagar fácilmente mediante métodos convencionales. Por lo tanto, no es un método para superar las dificultades de la propagación. Además, el proceso no es simple ni siempre exitoso. Sin embargo, Skolmen anticipa que en el futuro quizás sea posible que el cultivo de tejidos produzca más que los métodos de propagación convencionales, a un costo menor.

El bambú generalmente se propaga vegetativamente, debido a la infrecuente periodicidad de su

floreCIMIENTO. Las experiencias iniciales con *Bambusa spinosa* en Filipinas demostraron que los brotes del material vegetativo eran más vigorosos bajo la luz directa del sol (Mabbayag 1937). Además, se observó que los esquejes de tallo de la base de la cepa tienen un crecimiento inicial más rápido que los esquejes de la parte media o superior.

Las experiencias con la propagación del bambú en Puerto Rico recomendaron que se usaran cepas de 2 a 3 años de edad, que todas las ramas principales se podaran y que los esquejes se enterraran en un surco de 15 a 20 cm de profundidad (White 1948). Esquejes de *Bambusa vulgaris* de 70 a 130 cm de largo a menudo echan raíces cuando se los clavan en el suelo. Para mejores resultados, se usaron los nudos alargados que se dan en la base de la cepa. Se han efectuado recomendaciones similares para *Dendrocalamus latifolius* en Taiwán (Lin 1962). Se usaron esquejes con dos nudos, evitando la parte superior del caño; la especie rebrotó bien en marzo, pero abril y mayo fueron las mejores alternativas.

Las experiencias con *B. vulgaris* en Sudán indicaron que los mejores esquejes son los que tienen tres nudos y provienen del tercio medio del caño (Khan 1966b), seguidos por esquejes de dos nudos de la misma parte, y esquejes de tres nudos de otras partes del caño. El mejor mes de rebrote fue julio. Los esquejes se colocaron en el suelo en forma inclinada, con un nudo enterrado. Los brotes aparecieron a los 20 días. La tasa de supervivencia a los dos años del mejor tipo de esquejes fue de casi 50%.

En Filipinas, las plántulas de bambú de tres años de edad se dividieron para separar los ocho a doce brotes que cada una tenía (Sunder 1970). Las plántulas aguantaron el trauma bastante bien, y luego produjeron más brotes. La práctica en Bangladesh, con los bambúes de pared gruesa, es usar caños de cepa de 50 cm de largo, similares a los de acodos (Hasan *et al.* 1976); una vez arraigados, desarrollan en un buen material de plantado en 20 a 24 meses. Esta práctica es menos efectiva con bambúes de pared delgada.

El suelo de propagación. Las prácticas de vivero en todo el mundo no han dicho mucho en cuanto a los suelos usados para la propagación, sea mediante esquejes o semillas. El suelo debe ser lo suficientemente ligero como para permitir un drenaje libre y el levantamiento del material de plantación con facilidad para no dañar

las raíces. Sin embargo, debe ser lo suficientemente pesado para retener el agua y los nutrientes y tener propiedades adherentes cuando se lo usa en envases. Una vez que estas condiciones se cumplen, el control de la calidad del medio es principalmente cuestión de química, incluso la regulación del pH, teniendo que asegurar que los nutrientes existentes estén disponibles y corrigiendo cualquier deficiencia de los que no existen.

Por ejemplo, la arena del río se ha usado como base para producción en envases en Nigeria (Lowe 1967b). Para aumentar la retención de agua, se añadieron desechos de las vainas de cacao, afrecho de arroz, y aserrín. El agregado de una mayor cantidad de materia orgánica redujo el crecimiento, debido a una razón adversa de carbono (C) a nitrógeno (N), o debido al aumento de la mortalidad al perturbarse el pH o el equilibrio de nutrientes. El uso de fertilizantes relativamente insolubles resultó ser lo indicado.

Los ensayos en Puerto Rico con *P. caribaea* mostraron que la *sphagnum* si se la fertilizaba apropiadamente, era mejor que la arena y el suelo como medio de envase; las plantas en *sphagnum* crecieron dos veces más rápido que las plantadas en una mezcla de arena y tierra (Marrero 1961). Las raíces se desarrollaron mejor en envases con una mezcla de *sphagnum*, vermiculita y lodo.

El estado de los nutrientes en los viveros forestales tropicales se debe diagnosticar con frecuencia (Swan 1969). Los análisis foliares regulares son útiles. Se debe reconocer la necesidad de fósforo (P), potasio (K) y de otros elementos, y no prestar atención sólo al N, pues se podría crear un desequilibrio con los demás elementos.

En algunas regiones, los filtros comprimidos de las fábricas de azúcar constituyen un complemento orgánico fácilmente disponible para preparar el suelo de los viveros. En Australia, usados en camas de vivero a razón de 34 t/ha son beneficiosos, aunque a razón de 112 t/ha produjo clorosis (Anón. 1965g). En Puerto Rico, este tratamiento resultó en un aumento del pH a 8 o 9 por el calcio (Ca) en el material, que amenazaba con provocar una clorosis del hierro.

Las prácticas en Sudáfrica reconocen la necesidad de fertilizar las plantas en vivero, aunque los beneficios quizás no continúen después del plantado (Donald 1979). El uso de aditivos orgánicos para los suelos de los

viveros no es práctico en todas partes del trópico. En partes del Brasil, donde no hay disponibilidad de suplementos orgánicos, los fertilizantes inorgánicos son necesarios (Simoes *et al.* 1971). La aplicación de N a los suelos de vivero tiende a culpar a otros factores por el bajo crecimiento. En Australia, ni el N ni el P por sí solos beneficiaron la propagación, pero estas dos sustancias juntas pueden estimular el crecimiento en buena medida (Simpson 1978). Análisis de las existencias en viveros de *E. saligna* en Papúa - Nueva Guinea mostraron plántones atrofiados, de color rojo a violeta, como resultado de una deficiencia de P (Reynolds y Lubres 1971). Con la aplicación de P se corrigió el problema, pero un fertilizante alto en P produjo una baja relación entre raíz y parte aérea, y dificultades con el trasplante.

Las semillas comúnmente se cubren con arena o tierra tamizada, aunque también se usa material orgánico, como la turba musgosa (Thomson 1968).

Se ha comprobado que los hongos simbióticos, que forman micorrizas en las raíces de las plantas y facilitan la absorción de nutrientes son imprescindibles para el éxito de la introducción de pinos en los trópicos. Los hongos generalmente se introducen mediante la inoculación en los suelos de vivero; una vez establecidos, su supervivencia futura parece asegurada. Debido a que su simbiosis es específica con los pinos, no producen ningún otro efecto ambiental. El mayor peligro lo constituye la introducción en el suelo de algún organismo desconocido, junto con las micorrizas.

Los intentos iniciales por introducir *P. merkusii* fuera de su ámbito natural en Indonesia fracasaron (Alphen de Veer 1954), como también fracasó la introducción de tierra inoculada. Luego se plantaron pequeños árboles madres a espaciamientos de 1 m x 1 m, bajo los cuales se trasplantaron plántulas de 6 a 8 semanas de edad. Después de dos años, el terreno estaba uniformemente inoculado y los árboles madres ya no eran necesarios. Esa misma técnica se usó para inocular el suelo en Nigeria (Ekwebelam 1974), donde la adición de P pareció estimular las micorrizas.

En Puerto Rico durante muchos años se trató sin éxito de introducir especies coníferas antes de introducir micorrizas (Briscoe 1959, Hacskaylo y Vozzo 1967, Vozzo y Hacskaylo 1971). La introducción de hongos en un principio también fracasó; sin embargo, se tomó parte del mantillo de un bosque de pinos y se regó en el

suelo alrededor de plántulas moribundas, lo que provocó una respuesta espectacular. Luego se usó la tierra inoculada en las plantaciones para inocular las existencias del vivero. Inoculaciones subsiguientes con hongos conocidos también tuvieron éxito. La práctica en Sudáfrica es inocular los pinos con esporoforos o esporas en vez de suelo infectado (Donald 1979). Janos (1975) describe la amplia ocurrencia de micorrizas en los bosques tropicales.

Prácticas generales de vivero

Espaciamiento. El espaciamiento de semillas, trasplantes o esquejes en los viveros está sujeto a pocas reglas de aplicación universal y generalmente debe ser determinado para cada especie y cada situación. Un ensayo de espaciamiento de *G. arborea* en la India, ilustra las variables principales que se deben considerar (Cuadro 6-5). La cantidad de plántulas que sobrevivieron y fueron utilizables aumentó con la cantidad de semillas sembradas. El espaciamiento más estrecho se considera el mejor si existen bastantes semillas y la superficie del vivero es limitada. Un espaciamiento más amplio es mejor donde las semillas son escasas o caras.

En África, el sembrado de pinos para ser trasplantados, generalmente se hace con una densidad de 2000 a 6000 plantones por metro cuadrado (Allan y Edean 1966, Donald 1965). Para los *Eucalyptus*, es común una densidad de 1500/m².

El sembrado directo en envases tiene muchas ventajas, incluso un crecimiento más rápido y un riesgo menor de contraer la enfermedad del almácigo. Sin embargo, quizás se necesite una mayor cantidad de semillas, porque es necesario sembrar más de una semilla por envase y luego ralea.

Trasplante. El trasplantado de plantones del vivero a camas preparadas o a envases permite elegir un cultivo uniforme con los plantones más vigorosos y colocarlos en el espaciamiento final del vivero. Los pinos antes se trasplantaban varias semanas después de la germinación, pero lo usual ahora es trasplantarlos con 2 o 4 semanas (Griffith *et al.* 1962, Leuchars 1960). Con ello se logra una mayor tasa de supervivencia y una disminución del trauma post-trasplante. *Eucalyptus* generalmente se trasplanta cuando los plantones tienen tres o cuatro hojas (Anón. 1963c). En Malasia, *P. caribaea* se trasplanta 4 a 6 días después de la germinación (Paul 1972).

Sombra. En un principio se creía que los viveros de especies forestales debían estar bajo sombra, debido a que en condiciones naturales la mayoría de las especies toleran la sombra. Ahora, sin embargo, las plántulas se dejan a la sombra sólo cuando son muy sensibles a las altas temperaturas y a la desecación, como cuando están germinando, o cuando esquejes y trasplantes están arraigando. Aún las especies tan tolerantes, como *Araucaria hunsteinii*, han recibido sombra a medias durante sólo seis semanas, o sea casi el 10% del tiempo que están en vivero (Havel 1965). Por otro lado, *Anthocephalus chinensis*, una especie muy intolerante, al principio recibe una sombra ligera, debido a que sus plantones son extremadamente delicados, pero bien pronto se inclina hacia la luz que necesita (Pollard 1969). *E. tereticornis* y la mayoría de las especies de *Eucalyptus* sólo necesitan dos semanas de sombra (Lohani 1978). Los plantones bien establecidos generalmente crecen más rápidamente y se tornan más robustos y leñosos bajo la luz plena del sol que bajo la sombra. La luz plena es deseable aún para existencias que se deben plantar bajo sombra.

Poda de raíces. La corta de las raíces profundas del material de vivero aumenta la densidad y consolidación del sistema radicular. Las raíces principales más cortas y una mayor cantidad de raíces fibrosas reducen el trauma del trasplantado y aumentan la supervivencia y el crecimiento inicial. Esta ha sido una práctica común desde hace tiempo. En los viveros pequeños de los trópicos, esta poda se hace pasando un cable estirado por debajo de las camas de vivero. La experiencia con

Cuadro 6-5.—Efectos del espaciamiento en la supervivencia y rendimiento de *Gmelina arborea* en la India

Espaciamiento inicial (cm)	No. de semillas ^a	No. de sobre-vivientes	No. de pseudoestacas utilizables ^a	No. de árboles perdidos ^a
5 by 5	400	160	56	344
5 by 10	200	104	45	155
10 by 10	100	62	22	78
10 by 15	67	42	18	49
15 by 15	44	31	14	30

Fuente: Rajkhowa 1965.

^aPor metro cuadrado.

S. macrophylla en Filipinas recomendó el podado a los 60 días (Asiddao y Jacalne 1958). En lo que hoy es Zimbabue, esta práctica ha sido una ventaja significativa para los pinos y eucaliptos que se van a trasplantar en pastizales (Stubblings 1958).

Tipos de material para trasplante

A medida que la selección del material para el trasplante avanza de especie a procedencia y luego a progenie, se justifica la intensificación de las inversiones para garantizar la calidad del material. La producción de plantones y otros tipos de material para trasplante amerita mayores estudios, no sólo para reducir costos y mortalidad, sino también para aumentar la capacidad de los árboles plantados de ajustarse a las condiciones del sitio y a la competencia de las malezas.

Plantones a raíz desnuda. El material de trasplante a raíz desnuda puede morir si las raíces se exponen, aún brevemente, al viento o al sol. Por ello, las raíces se deben proteger con un empaque húmedo. La desecación también se puede reducir quitando algunas o todas las hojas en el momento de levantar el plantón.

En el sur del Brasil, *P. elliotii* y *P. taeda* se han plantado a raíz desnuda sólo en sitios donde las lluvias están bien distribuidas a través del año (Simoes *et al.* 1976). En Puerto Rico, esta práctica se discontinuó con *P. caribaea*, en parte porque no se podía confiar en las lluvias, pero también debido al largo período de recuperación por el trauma de plantación, lo que extendió el período de corta de malezas hasta por un año.

El establecimiento a raíz desnuda se ha ensayado en todas partes donde la siembra directa —una alternativa más barata— no ha tenido éxito. Las plantaciones para controlar la erosión en suelos pobres de la India se han efectuado a raíz desnuda con *Albizia amara*, *A. lebbek*, *A. procera*, *Azadirachta indica*, *Dalbergia sissoo*, *Eucalyptus* spp., y *G. arborea* (Goswami 1957). En sitios secos bajo irrigación, se plantó *Casuarina equisetifolia* a raíz desnuda (Venkatesan 1973).

En los climas húmedos, esta técnica ha tenido éxito con muchas especies. En Malasia, la abundancia de material silvestre hizo que la producción en envases fuera demasiado cara (Gill 1970). *Cupressus lusitanica* a raíz desnuda se estableció con éxito en Guatemala, teniendo cuidado especial de proteger las raíces (Holdridge 1953). *Virola surinamensis*, uno de los árboles de buen

potencial en los bosques húmedos del norte de Sudamérica, generalmente se planta a raíz desnuda (Schulz y Rodríguez 1966).

Swietenia macrophylla se ha plantado con buen resultado en Filipinas (Santos y Rimando 1952). Un ensayo de *Terminalia ivorensis* en Nigeria comparó la producción de plantones en envases y a raíz desnuda, y demostró que durante el período lluvioso de 3 a 5 meses no era necesario usar envases (Lowe y Dobson 1966). En Puerto Rico, es tradicional plantar *Casuarina equisetifolia*, *Cordia alliodora*, *Hibiscus elatus* y *Swietenia* spp. a raíz desnuda. Tanto *Eucalyptus* spp. como *P. caribaea* se han plantado a raíz desnuda de manera experimental, con resultados positivos bajo condiciones favorables.

P. caribaea a raíz desnuda y en envases de polietileno mostró una tasa de supervivencia del 99% para ambos métodos a los 30 días. Después de una sequía de siete semanas, la supervivencia bajó al 88% para el material en bolsas y al 45% para la raíz desnuda. Sin embargo, si se incluyen todos los costos, es más barato replantar que usar envases (Briscoe 1960).

Un ensayo en Florida, con plantones de *Eucalyptus* crecidos en bolsas de plástico no mostró una declinación en la tasa de supervivencia cuando se le lavaba la tierra de las raíces antes del plantado (Meskimen 1973). El tratamiento retardó el crecimiento durante el primer mes, pero el transporte se simplificó y se pudo plantar con máquina. El experimento también arrojó mejores resultados con existencias leñosas en vez de suculentas.

Tamaño del material de plantado. El tamaño del material de plantado se ha estandarizado de acuerdo con las condiciones de los países tropicales. Esto ha llevado al rechazo de árboles por debajo de la norma, generalmente sin que se entiendan bien los criterios significativos involucrados. El mejor tamaño de plantón para *Araucaria hunsteinii* en Papúa - Nueva Guinea resultó ser no más de 18 cm (Havel 1965). En Filipinas, el criterio usado fue la edad de las existencias; así, los plantones de once meses de *Pinus kesiya* crecieron más rápido en altura después del plantado que los de seis meses (Zamora y Agpaoa 1976). Para el plantado de pinos y eucaliptos en pastizales, en lo que hoy es Zimbabue, se prefieren plantones grandes a raíz desnuda de 40 a 50 cm de altura (Stubblings 1958).

Las diferencias en el tamaño del material de vivero son comunes; sin embargo, no es seguro obtener ganancias genéticas trasplantando al campo el material más grande. Por ejemplo, en los bordes de camas los pinos en bolsas de polietileno generalmente son más bajos. Sin embargo, este efecto podría deberse a la inhibición de las micorrizas por la exposición lateral al sol, un fenómeno sin relación con el potencial genético de los árboles (Jackson 1974). Sweet y Wareing (1966) concluyeron que las variaciones en el tamaño de las existencias de vivero de menos de un año de edad se deben casi enteramente a pequeñas diferencias de sitio en el momento de la germinación (o poco después) y que son independientes de las diferencias genéticas. La selección de especies dominantes, por lo tanto, no garantiza una superioridad genética.

Experimentos aislados parecen apoyar esta conclusión. En Brasil, entre las plantas de *P. elliotii* de mejor crecimiento a los nueve meses, se eligió sólo una de cada 3500 plantas (Shimizu *et al.* 1977). En el momento del plantado, la altura de los árboles seleccionados fue 34% mayor que los demás; después de un año, la diferencia era del 46%. A fines del segundo año, se había rebajado al 31% y en el tercer año a 12%, lo que significa que el beneficio de esta selección había casi desaparecido. En otro caso, ensayos con *P. taeda* en EE.UU. revelaron variaciones genéticas en la capacidad de los árboles de soportar el trauma del trasplante (Beineke 1967): los árboles altos fueron consistentemente los peores sobrevivientes. Estos ejemplos no abogan necesariamente en contra de los estándares y de la selección en vivero, pero sí sugieren que el material de apariencia inferior, puede en realidad no serlo.

Sin embargo, esta no es una razón para rechazar la selección de plántones como un proceso lógico mediante el cual se puede reconocer el vigor fenotípico. Un estudio de pinos de 45 años en el sur de EE.UU. demostró que el desempeño de los árboles provenientes de plántones de primera calidad era significativamente mejor que los de plántones de tercera calidad (Wakeley 1969). La selección inicial fue corroborada por el desempeño subsiguiente.

Los trabajadores de los viveros comúnmente deben decidir si eliminar o mantener los excedentes, al final de una estación de plantado. Tales existencias normalmente serían más grandes y costaría más plantarlas, y posiblemente serían menos capaces de

sobrevivir. Es probable que no todo el material sobrante deba salvarse, pero los resultados en Puerto Rico indicaron que la capacidad de los árboles de *S. macrophylla* de sobrevivir al plantado no necesariamente declina en unos pocos meses (Marrero 1942). Las existencias de 1 a 2 m de altura se pueden cortar a 10 cm de altura y sobrevivir bien en el campo. Las plantas pequeñas de teca que quedan del año anterior no son necesariamente inferiores para establecerlas en el campo (Venkataramany 1960a).

Pseudoestacas y plántones deshojados. Comúnmente, los materiales más grandes se usan para repoblación bajo dosel, porque su mayor crecimiento podría significar una ventaja sobre sus competidores. Sin embargo, la poda como pseudoestaca de árboles de 1 a 2 m de altura también es una práctica de uso común. Esta poda se aplica por lo general a la teca. La práctica surgió porque las ramas terminales de muchos árboles que no se recortaban se morían de todos modos después del plantado y luego rebrotaban en sitios, que se creía, eran menos deseables que la base del tronco. Las pseudoestacas de teca se podan hasta 2 cm por encima del cuello de la raíz, y generalmente tienen una raíz principal de 15 cm, sin raíces laterales (Wood 1968). En un ensayo efectuado en la India, la supervivencia y crecimiento en altura de teca a los dos años aumentó con el tamaño de la pseudoestaca (Cuadro 6-6).

Las pseudoestacas pueden almacenarse bien. Un ensayo en lo que hoy es Myanmar (Anón. 1947a) demostró que las pseudoestacas de *Toona ciliata* dejadas al aire libre bajo techo tuvieron una tasa de supervivencia del 75%, después de cinco días de almacenaje, pero ninguna sobrevivió después de diez días. Sin embargo, cuando

Cuadro 6-6.—Diámetro de pseudoestacas de teca (*Tectona grandis*) en comparación con la supervivencia y el crecimiento inicial en altura en la India

Cuello de la raíz (cm)	Supervivencia al año (%)	Altura a los 2 años (m)
0.8–1.0	64	0.9
1.0–1.3	81	1.3
1.3–1.5	88	1.5
1.5–2.0	92	1.5

Fuente: Anón. 1944, 1947a.

se almacenaban en bolsas húmedas, la tasa de supervivencia fue del 90% después de 25 días y 28% después de 45 días. Las pseudoestacas demasiado grandes se pueden rajar a la mitad sin gran pérdida, pero si se rajan en cuatro, se reduce la supervivencia (Venkataramany 1960a).

Para grandes proyectos, esta técnica presenta tantas ventajas que probablemente se usará con un mayor número de especies tropicales en el futuro. Se ha usado extensamente con *G. arborea* y a gran escala en Brasil (Woessner 1980a). Las pseudoestacas de *G. arborea* usadas fueron de 4 a 6 meses de edad y de 2 cm de diámetro en el cuello de la raíz; la altura fue de 4 cm del cuello de la raíz y con una raíz principal de casi 10 cm de largo. En la India, las pseudoestacas se han usado bajo condiciones secas con *Albizia lebbek*, *Bauhinia* spp., y *D. sissoo* (Singh 1951). Un estudio en Costa de Marfil sobre el sistema radicular de varias especies indicó que el establecimiento por pseudoestaca puede ser exitoso con *Tarrieta utilis*, *Terminalia ivorensis* y *Entandrophragma utile*, esta última bajo condiciones favorables (Bonnet-Masimbert 1972). *Triplochiton scleroxylon* resultó inadecuado debido a que necesita su sistema entero de raíces frágiles para sobrevivir. No se recomiendan pseudoestacas para repoblación bajo cubierta, debido a que en estas condiciones se necesita un crecimiento en altura máximo y rápido (Lamb 1969a).

En el otro extremo se ubican los plántones deshojados, material de vivero de 2 a 3 m de altura, al cual se le eliminan la mayoría o todas las hojas y el resto queda intacto. Estos se usan en zonas donde el daño causado por la fauna puede ser excesivo, donde hay riesgo de enfermedades del tallo, o en repoblaciones bajo cubierta donde se quiere minimizar la corta de malezas (Parry 1956). Se han usado plántones deshojados de *Gmelina* y de Meliaceae, principalmente en África, pero también de *Swietenia* en Centroamérica. Su utilidad depende casi enteramente de las condiciones locales. Los gastos extras de una estadía prolongada en el vivero y de plantado se pueden recuperar con el rápido arranque de estos plántones.

Material en envases. El uso de envases para preparar el material de plantación forestal han sido mucho más común en los trópicos que en la zona templada. Las razones principales son la ausencia de un período de dormancia durante el cual el trauma del trasplante sería menor y el hecho que se debe promover la rápida

dominación de los árboles plantados sobre la vegetación competidora, particularmente en el caso de la repoblación bajo dosel (Lamb 1969a). Se ha echado la culpa de muchos de los fracasos de plantaciones tropicales al daño sufrido por el material a raíz desnuda (Touzet 1972). Los envases ofrecen otros beneficios bajo circunstancias especiales, tales como la necesidad de tener que mantener las existencias cerca del sitio de plantación final.

Experimentos en Puerto Rico compararon la producción y desempeño de las existencias de *P. caribaea* en bolsas de polietileno, con pan de tierra y colocadas en bolsas el día antes del plantado, y a raíz desnuda (Briscoe 1962). Los materiales embolsados requerían más espacio, más equipo y más mano de obra que las existencias a raíz desnuda, pero por otro lado, mostraron una alta tasa de supervivencia y un crecimiento inicial más rápido.

El uso de envases implica mayores inversiones: el medio de enraizado se va junto con la planta, por lo que se debe conseguir continuamente; su mayor peso y bulto complican el transporte; los envases generalmente son costosos y desechables, y por lo general se llenan a mano; los hoyos para el plantado deben ser grandes y comúnmente no se usan máquinas para plantar existencias envasadas.

Se han empleado envases de bambú, latas usadas, papel alquitranado, tubos de papel usado, cajas de leche, cajas de papel encerado especialmente fabricadas, bolsas perforadas de polietileno y tubos plásticos rígidos (Fig. 6-3). El envase más usado en los trópicos es la bolsa de polietileno de 6 cm de ancho por 12 cm de alto.

Para los arenales severamente arrasados por el viento en Madras, India, los plántones de *Prosopis juliflora* se produjeron en envases de 7 cm de ancho y 15 cm de alto para evitar tener que irrigarlos después del plantado (Rao 1951). *Casuarina equisetifolia* también se ha envasado en Orissa, India, para sitios extremadamente secos y arenosos, donde aún con existencias envasadas y una irrigación semanal durante dos años, la mortalidad puede ser hasta del 50% (Sharma 1951).

El crecimiento inicial rápido de *G. arborea*, envasada en sitios de baja precipitación de lo que hoy es Malawi, reemplazó el uso de pseudoestacas (McEwan 1961). Los ensayos en Tanzania (Wood 1966) con *P. caribaea*

demonstraron que las plantas envasadas tenían tasas de supervivencia significativamente más altas que las existencias a raíz desnuda. No hubo diferencia en la supervivencia entre tubos de 10 y 15 cm, pero después de un año, los árboles en los tubos más grandes fueron significativamente más altos: 1,1 y 1,4 m, respectivamente. En Cuba, se obtuvieron los mismos resultados (Acosta *et al.* 1975). En un sitio, los árboles de existencias envasadas a los 19,5 meses tuvieron una altura promedio de 88 cm, en comparación con 59 cm a raíz desnuda. A pesar del mayor crecimiento en altura, sin embargo, no se determinó cuál de las prácticas rindió el mayor beneficio en términos de la inversión efectuada. En Venezuela, algunas de las plantaciones extensas de pinos en la cuenca inferior del Orinoco se habían establecido con cilindros abiertos de papel alquitranado de 6 cm de diámetro (Lama Gutiérrez 1976).

La plantación de *Eucalyptus* en América tropical generalmente se hace en envases. Ensayos de siete especies en Vicosá, Brasil, demostraron que la tasa de supervivencia de plántulas a raíz desnuda nunca fue mayor del 29% (Brandt y de Barros 1970).

Las bolsas suaves de plástico son difíciles de llenar rápida y económicamente. Se han desarrollado dispositivos para llenarlas en Brasil, Venezuela y Puerto Rico, entre otros. Los dispositivos más simples son embudos de metal de las dimensiones apropiadas. Como se llenan a mano, este proceso toma mucho tiempo, y donde la mano de obra es cara o escasa, el costo puede ser prohibitivo. Un buen llenador de bolsas mecánico se ha usado en Australia (Evans y Duyker 1965). El proceso requiere tierra completamente pulverizada y seca.

El sembrado directo de semillas en bolsas es mucho menos caro que el trasplantado. En Papúa - Nueva Guinea, el sembrado directo de *P. caribaea* redujo el tiempo de crecimiento en vivero en un 28% y el costo de los plántulas en un 93%, con una ventaja en la altura promedio del 42% (Howcraft 1973). Una técnica de flotación en alcohol se usó para eliminar las semillas no viables; se sembraron dos semillas por bolsa.

Los problemas del llenado de bolsas, junto con el costo de llevar grandes volúmenes de tierra al vivero y el transporte al campo, han hecho que se prefieran los envases rígidos, desechables o reutilizables. Durante mucho tiempo en Argentina, Venezuela y otras partes se

han usado envases sin fondo de papel alquitranado que se pueden llenar con rapidez. Estos envases se paran derechos, se colocan uno al lado del otro entre las paredes laterales de la cama de vivero y se llenan colectiva y rápidamente con una pala.

En Florida y Hawai se están usando tubos rígidos de plástico de no más de 3 cm de ancho y 15 cm de largo, con un fondo cónico perforado. Típicamente, se usa un producto artificial para el relleno, como vermiculita o perlita; así, no se tiene que transportar toneladas de tierra de relleno todos los años. Los tubos se pueden colocar en marcos ligeros para ser transportados con facilidad; pero como son reutilizables, se pueden sacar y guardar en el vivero, y transportar el material de plantación envuelto en tela de yute, si el relleno está bien adherido.

Debido a que la desecación mata muchos plántulas recién plantados, se han ensayado con sustancias químicas que evitan la transpiración. Sin embargo, en Hawai, un ensayo de *E. saligna* que utilizó una solución de captan-malathion comparó la inmersión con el rociado y no mostró superioridad de ninguno, en términos de supervivencia o tasa de crecimiento después de un año en el campo (Walters 1971).

Insectos y enfermedades

La recolección, almacenamiento y producción de materiales de propagación de árboles del bosque tropical no están libres de problemas de insectos y enfermedades. Estos problemas, generalmente son locales y sujetos a cambios rápidos. Algunos de los problemas encontrados se describen aquí, pero no se hace una revisión exhaustiva de la conducta de las plagas ni de las recomendaciones para su tratamiento. Se refiere al lector a los informes especializados sobre entomología y patología forestal para información más completa, algunos de los cuales se citan en la bibliografía. No existen referencias completas sobre los insectos del bosque tropical.

Una categoría importante de problemas de vivero son las llamadas "enfermedades de deficiencia", donde las existencias tienen muy poco (o demasiado) de algún componente abiótico esencial para su ambiente, tal como humedad o nutrientes. En la actualidad se encuentra excelente información sobre estos problemas en relación con cultivos agrícolas, árboles frutales y ornamentales. Esta información es útil para diagnosticar y corregir problemas similares que afectan a los árboles



Fig. 6-3. — En algunos viveros se ha comprobado la utilidad de los envases plásticos reciclables.

forestales y a las plántulas en vivero. También se debe consultar a especialistas en entomología y patología de las plantas.

La mayoría de las plagas de insectos y hongos eligen a su hospedero. Los árboles que crecen fuera de su hábitat natural podrían librarse de las plagas que atacan en su ambiente nativo, pero se tornan susceptibles a nuevas plagas. Para reducir el peligro de ataques de plagas o de contagio se debe asegurar que los árboles jóvenes introducidos permanezcan sanos (Chapman y Allan 1978). El control puede ser silvícola, biológico, mecánico o químico.

Las medidas silvícolas incluyen el control mediante el espaciamiento de los árboles y el uso de plantaciones mixtas. El control biológico involucra una coacción entre dos o más organismos que favorecen al cultivo deseado. El control mecánico generalmente requiere que se quite el material infestado, incluyendo a los huéspedes alternativos. El control químico se basa en insecticidas y fungicidas (Chapman y Allan 1978).

En los trópicos, la necesidad de reducir o eliminar a los organismos indeseables de la tierra usada para la propagación del árbol es casi universal. La producción repetida tiende a atraer estos problemas. Una práctica intensiva en los viveros es exponer la tierra bien suelta a bromuro de metilo, un gas muy tóxico (y peligroso). Esta sustancia se ha utilizado durante décadas en la propagación del *Eucalyptus*. Las propiedades excelentes del bromuro de metilo como desinfectante incluye el

hecho de que no mata a todos los organismos del suelo, como se demostró en 1954 (Guimaraes *et al.* 1954). Este compuesto se ha usado ampliamente en Brasil desde entonces. Su uso se convirtió en la práctica estándar para la producción de *Eucalyptus* en África del Sur (Knuffel 1967), donde aumentó la cantidad de plantas en un 50%.

Los problemas de insectos pueden también ser reducidos significativamente si se trata con insecticidas la tierra del vivero. Esta es una práctica estándar con *E. tereticornis* en la India (Lohani 1978). Idealmente, el tratamiento se aplica en pequeña escala para minimizar sorpresas antes de emprender operaciones en gran escala.

La ubicación aislada de muchos viveros en el trópico hace que los problemas comunes de insectos y enfermedades se deban manejar con sentido común. Un ejemplo se produjo en un vivero de *Cedrela odorata* y *S. macrophylla* en Fidji (Anón. 1954d). Un escarabajo escolitido desconocido atacó a los plantones de ambas especies barrenando el tallo cerca del cuello de la raíz y depositando sus huevos. Los plantones infestados se arrancaron rápidamente y se quemaron, con lo que el problema se controló. Tales situaciones requieren soluciones similares debido a la falta de precedentes o acceso a especialistas. Las prácticas de sentido común deben continuar, pero debido a que generalmente no se identifican las causas ni se aplica una solución científica, los problemas más serios o frecuentes tarde o temprano han de requerir una investigación cuidadosa. Los controles biológicos en muchos casos constituyen objetivos de investigación que todavía no se han alcanzado.

Técnicas de plantación

Las técnicas de plantación en los trópicos varían tanto que no hay una práctica de aplicación universal. Los manuales sólo sirven como guías que deben ser modificadas para adaptarse a las necesidades de cada situación. Se han publicado varios compendios de experiencias de plantación en los trópicos que son útiles para la selección de prácticas. Un ejemplo excelente (Chapman y Allan 1978) trata en detalle la planificación de la plantación, preparación del sitio, siembra directa, plantado y prácticas de manejo, técnicas especiales para la conservación del suelo y agua, irrigación, dunas, sitios muy húmedos o anegados, sitios afectados por la minería y la protección de las plantaciones contra el clima, insectos, hongos e incendios.

La importancia de la preparación del sitio, cuando se planta un árbol fuera de su ámbito natural, se muestra con las experiencias en Kenia (Schonau 1975). Allí, las técnicas de establecimiento influyeron en la tasa de crecimiento inicial de *E. grandis* más que la calidad del sitio. Donde la precipitación es un factor limitante, es posible que se necesite una preparación completa del sitio, incluso arado, barbecho y rastrillado. El crecimiento superior en sitios preparados de ese modo también fue aparente a los siete años. El uso de fertilizantes, particularmente P, puede rendir una rentabilidad financiera de 25% anual. La necesidad principal es por P, pero la demanda por N aumenta si el sitio no ha sido bien preparado.

Época de plantado. Casi todos los sitios en el neotrópico están sujetos a variaciones estacionales de la precipitación. La precipitación inmediatamente antes y después del plantado es crítica para la supervivencia de la mayoría de las especies arbóreas. El plantado debe comenzar al comienzo de la estación de lluvias, cuando se espera que la duración de la humedad adecuada en el suelo sea máxima. La teca plantada en la India a inicios de la estación de lluvias invariablemente tiene un mejor comportamiento que si se la planta más tarde (Laurie 1941g). La preparación del suelo y la excavación de hoyos se puede hacer meses antes para acortar el período de plantación (Lohani 1978). En África occidental, los árboles se han plantado generalmente seis meses antes de la estación de sequía (Groulez 1961a). *E. deglupta*, una especie que necesita una humedad casi constante, no debe plantarse a menos de un mes del inicio de una estación seca normal (Dalton y Davison 1974).

En Puerto Rico, el momento ideal para plantar son los meses que tienen un promedio de al menos 15 cm de precipitación, precedidos y seguidos por meses con promedios de precipitación de al menos 10 cm (Marrero y Wadsworth 1958). En la India, en sitios donde la precipitación es menos de 100 cm anualmente, el sembrado directo de *A. lebbek*, *Azadirachta indica* y *Cassia fistula* se puede efectuar cada mes (Laurie 1941b). Las semillas persisten en el suelo hasta que empiezan las lluvias imprevistas.

Preparación de sitio. La preparación del sitio generalmente es crítica para el éxito de la plantación. Si bien puede facilitar el trabajo de plantar, su propósito principal es dar a los árboles plantados un impulso

inicial sobre la vegetación natural y de ese modo minimizar la eliminación de malezas.

Las consideraciones generales sobre la preparación del sitio se han descrito muy bien en Chapman y Allan (1978). Donde la cobertura vegetativa puede prevenir el establecimiento exitoso de una plantación se deben desarrollar métodos para eliminar o reducir la competencia. La preparación del sitio a menudo abarca una buena proporción de los costos totales de establecimiento; por consiguiente, se necesitan métodos eficientes y económicos que eviten los cambios ecológicos indeseables. Bajo circunstancias favorables, no se tendría que eliminar mucha vegetación y el suelo puede permanecer sin perturbar. En el otro extremo, están los bosques pluviales con una fuerte vegetación residual y suelos frágiles.

Los costos de preparación del sitio son un obstáculo principal para plantar en zonas no forestadas. Aún en las praderas de la cuenca inferior del Orinoco en Venezuela, la preparación del sitio constituye más de un cuarto del costo de establecimiento de la plantación (Gutiérrez 1970).

La preparación del terreno es un proceso de dos etapas: la eliminación de la vegetación competidora y la preparación del suelo. La agricultura migratoria ha reducido la vegetación competidora en muchos sitios. Los árboles restantes se pueden talar, o si son grandes, anillar o envenenar. En zonas secas es esencial prevenir el consumo del agua escasa, por parte de la vegetación competidora (Cooling 1960). En un ensayo en terrenos boscosos de miombo en Zambia, la eliminación completa de malezas resultó en una tasa de supervivencia del 95% para una plantación de 14 meses, en comparación con menos de 30% en lugares donde sólo se hicieron limpiezas parciales (Edean y Jones 1972).

Gran parte de los terrenos que deben ser reforestados en los trópicos no son aptos para la preparación mecanizada del sitio debido a que son empinados o irregulares. El costo de entrenar al personal, mantener el equipo e inventarios de repuestos y combustibles en lugares remotos puede exceder las expectativas. Aún donde las técnicas mecanizadas son factibles o menos costosas que los métodos manuales, el beneficio social del empleo que el método manual puede proporcionar, se debe considerar muy cuidadosamente antes de pensar en la preparación mecanizada.

La preparación del sitio puede ser innecesaria en laderas susceptibles a la erosión, dunas activas y campos de cultivo recientemente abandonados. Cuanto menos se perturbe el suelo en tales zonas tanto mejor. La poca limpieza de malezas que pueda necesitarse, se puede hacer fácilmente de forma manual.

En muchos sitios (como Trinidad) se han contratado campesinos migratorios para preparar los sitios de plantaciones forestales y para compartir inicialmente el terreno con cultivos alimenticios, el sistema taungya (Lackhan 1976). Este sistema sigue siendo una manera práctica de convertir a los bosques talados en plantaciones madereras, donde el control público de terrenos forestales es adecuado. En Monte Dourado, Brasil, donde los bosques habían sido talados y quemados recientemente, se empleó a campesinos migratorios para producir cultivos alimenticios y, de paso, mantener libres de malezas a los árboles plantados. La preparación del sitio mediante este método a menudo deja grandes árboles remanentes en pie que luego deben ser talados con cierto daño a la plantación.

Donde el sistema taungya no es práctico, la eliminación de los matorrales, bosques secundarios bajos o bosques recientemente talados, generalmente se hace a mano, con machetes, hachas y sierras de cadena. La tala manual de bosques altos para establecer plantaciones es poco práctica. En Monte Dorado, Brasil, hasta un 80% del volumen de bosques altos talados se usa para madera de aserrío y pulpa; el resto se usa como leña en el procesamiento de la pulpa y para generar electricidad (Woessner 1980a). En la preparación del sitio sólo se tienen que quemar las ramas, lo cual es un material adecuado para hacer una quema limpia y plantar sobre las cenizas de inmediato.

El uso del fuego en la preparación final del sitio es común en los trópicos. Donde hay grandes cantidades de desechos que cubren el suelo y no es práctico amontonarlos con implementos mecanizados, la quema es la única manera de facilitar el acceso a los plantadores. Donde la quema no es necesaria se la debe evitar, particularmente en laderas, porque la quema libera nutrientes (Fig. 6-4). El N de la biomasa se pierde, y los nutrientes que permanecen en las cenizas pueden perderse por erosión. Por otro lado, si se permite que los desechos se desintegren en el sitio, los nutrientes se liberan a una tasa aproximadamente igual de rápida como la absorción por el nuevo cultivo.

Un método menos drástico de convertir a los bosques secundarios en plantaciones en los trópicos es efectuar aclareos en franjas y repoblaciones bajo cubierta, una práctica usada extensamente en África, pero todavía muy raramente en América (Capítulo 5). Se supuso que si las franjas eran tan anchas como los diámetros de las copas de los árboles maduros, la tarea de preparación del sitio se reduciría; que las especies que requerían una sombra parcial inicial tendrían un ambiente similar al natural; y que la mayor parte del bosque nativo no se debía talar porque los árboles plantados pronto lo dominarían. Si bien la técnica tuvo buenos resultados, no ha sido tan simple o efectiva como se esperaba. La sombra que se dejó inicialmente fue demasiado densa; las especies plantadas presentaron tasas de crecimiento de lentas a intermedias que han requerido muchos años de prácticas de manejo, incluso cortas de liberación. Un enfoque posterior se centró en el uso de especies intolerantes de crecimiento rápido que requerían la eliminación del estrato superior (Lamb 1960). Por consiguiente, la preparación del sitio, aunque las franjas inicialmente eran de 1,8 m de ancho, fue sólo ligeramente más barato que en plantaciones convencionales.

Preparación mecanizada del sitio. Se pueden usar métodos manuales o mecánicos para la preparación del sitio. En los grandes proyectos de plantaciones en Brasil, la preparación del sitio ha sido generalmente mecanizada (Simoes *et al.* 1976). Cualquier proyecto de



Fig. 6-4.—Preparación del sitio mediante quemas extensas tres meses después de talar el bosque primario, una práctica antes usada en Jari, Brasil.

plantación a gran escala debe comparar las ventajas relativas, sociales y económicas, de ambos métodos antes de decidirse por uno (Chapman y Allan 1978).

En terrenos llanos y laderas de hasta 30%, libres de irregularidades u obstrucciones (los mejores sitios disponibles), se pueden usar máquinas para derribar árboles, arrastrar desechos, arar y preparar el suelo para plantar los árboles. Cuando la mano de obra es escasa o cuando la temporada de plantado es corta, el método mecanizado puede ser la única alternativa práctica para la preparación del sitio. La mayor capacidad de las operaciones mecanizadas puede también proporcionar oportunidades de empleo no disponibles de otro modo.

Sin embargo, la eliminación mecanizada de la vegetación puede dañar el sitio. Un estudio en Surinam reveló que las máquinas tenían un serio impacto en las propiedades físicas y químicas del suelo (van der Weert 1974). El equipo pesado puede tener un efecto perjudicial sobre la estructura del suelo y remover la capa superficial. La compactación es mayor cuando el suelo está húmedo, por eso el aclarado debe hacerse durante la estación seca. Para minimizar el paso repetido de la maquinaria sobre el terreno, las franjas de desechos se deben espaciar a más o menos el doble de la distancia entre las hileras de plantación.

Las máquinas se usan comúnmente para la preparación del sitio en zonas relativamente llanas de los bosques cerrados en Brasil (Brandt *et al.* 1971). Los árboles pequeños se pueden desarraigar con cadenas arrastradas entre dos tractores. El suelo comúnmente se ara y grada con un escarificador de discos, no sólo para el control de las malezas, sino también para conservar el agua del suelo para los árboles. El control de las hormigas defoliadoras con pesticidas forma parte integral de la preparación del sitio en Brasil. El arado y discado en los altiplanos de Colombia produjo un crecimiento más rápido de *E. grandis*, *P. kesiya*, *P. oocarpa* y *P. patula*, durante los primeros cinco años (Cannon 1980; Ladrach 1978a, 1978b).

En los trópicos, las operaciones para la preparación del sitio que usan equipos mecanizados, incluyen las siguientes:

Tala — La tala generalmente se efectúa durante la estación lluviosa. En los bosques altos o secundarios, se tala con sierras de cadena o con cuchillas montadas en tractores oruga. Donde los árboles son pequeños se

extraen con cadenas entre dos tractores. Cuando se trata de matorrales ligeros, se pueden usar tractores oruga que arrastran cuchillas rotativas por detrás.

Franjas de desechos —Estas normalmente se hacen poco después de terminada la estación lluviosa. Por lo general, se usan tractores o explanadoras con rastrillo frontal. La remoción completa de los tocones es necesaria si la plantación luego ha de necesitar prácticas de cultivo mecanizadas. Los grandes tocones que no se pueden desarraigar se rodean de desechos y se queman.

Quema — La quema se hace antes de finalizar la estación seca. Las fajas cortafuegos de la periferia se limpian con explanadoras; debe haber trabajadores que supervisen la quema para consolidar todo material que no se quema completamente. Se deben tener equipos capacitados y disponibles para controlar incendios.

Cultivo — Las plantas se deben sembrar inmediatamente después de la quema. El suelo se ara sólo donde la cubierta vegetativa pesada o el clima seco impiden el desarrollo exitoso de la plantación; para ello se usan tractores con arados pesados y escarificadores de discos.

Uso de herbicidas. El uso de sustancias químicas involucra peligros, tanto para los que las aplican como para el ambiente natural. Es necesario permanecer informados de las evaluaciones rápidamente cambiantes sobre pesticidas específicos, para evitar el uso de alguno innecesariamente dañino al ambiente. La seguridad de los trabajadores expuestos a estos agentes es de igual magnitud. El uso de herbicidas requiere ciertas precauciones importantes. Las instrucciones de seguridad del fabricante se deben seguir al pie de la letra. Muchos herbicidas son irritantes o tóxicos para los mamíferos y pueden ser absorbidos por los pasajes de la nariz o por la piel. Donde se usan rociados, se deben poner vestimentas de protección, incluso guantes y máscaras faciales. Otros peligros surgen después de la aplicación de los herbicidas; los persistentes o que se descomponen en otras sustancias químicas peligrosas o poco conocidas, deben mantenerse lejos de las corrientes de agua. Esto requiere aplicaciones mínimas, inyectadas en los árboles y no aplicadas en la superficie terrestre; además, se debe evitar su uso en días de lluvia.

Las sustancias químicas que matan a las plantas son útiles en la preparación del sitio para el plantado, bajo

ciertas condiciones. Debido a que pueden eliminar sin desarraigo pastos, malezas y plantas leñosas, los herbicidas pueden ser superiores a los métodos mecánicos, cuando se requiere limpiar un terreno. En sitios donde hay sólo pastos o malezas, el tratamiento con herbicidas es adecuado. Cuando quedan tocones, los herbicidas se pueden aplicar para impedir que rebroten. Algunos herbicidas matan a la vegetación apenas se ponen en contacto con ella; otros debe penetrar antes de tornarse efectivos; otros matan las semillas en el suelo. Los herbicidas son más efectivos cuando se usan con buen tiempo.

A continuación se mencionan algunos herbicidas de utilidad comprobada en la preparación del sitio. La denominación por marca registrada es para efectos de claridad y no significa que se apoya su uso más que el de cualquier otra sustancia equivalente.

1. Contra pastos:

- a. Dalapon, herbicida que transmiga y que afecta sólo a las monocotiledóneas. No se sabe si pone en peligro la vida acuática.
- b. Paraquat, herbicida que transmiga y tiene una acción extremadamente rápida contra los pastos y las especies de raíces fibrosas o estoloníferas. Causa defoliación, pero raramente mata a las especies leñosas.

2. Contra malezas herbáceas de hoja ancha:

- 2,4-D (ácido diclorohenoxiacético), herbicida que transmiga y se aplica como rocío foliar.

3. Contra especies leñosas:

- a. Picloram, herbicida que transmiga, extremadamente efectivo contra plantas leñosas y particularmente útil en prevenir el crecimiento de los retoños. La mayoría de los pastos lo toleran.
- b. Sulfamato de amonio, una sustancia química soluble y cristalina que se aplica a los tocones para evitar que rebroten.

4. Contra las semillas en el suelo:

Atrazine, un esterilizador efectivo del suelo. Se lo puede aplicar a la vegetación baja manualmente o mediante rociadores o nebulizadores portátiles motorizados. Los

árboles se pueden tratar usando un rociado basal (un mero mojado de la corteza alrededor del tallo y de anillamientos); también se puede inyectar. Los inyectoros, desafortunadamente, se deterioran rápidamente en climas muy húmedos y con el uso de herbicidas corrosivos.

Una combinación de métodos tradicionales para la eliminación de la vegetación y arboricidas químicos es efectiva donde se deben eliminar matorrales bajos, densos y leñosos. El control de un matorral introducido, leguminoso, llamado marabu (*Dichrostachys glomerata*) en Cuba no fue posible con métodos mecanizados, pero sí con el rociado de herbicidas, al comienzo de la estación seca y otra vez durante la estación lluviosa (Kudela 1978).

Consideraciones especiales para la preparación del sitio. En suelos susceptibles a una seria erosión debido a la textura, pendiente o intensidad de la lluvia, lo más apropiado es una preparación menos completa del sitio. Es particularmente deseable mantener la cobertura vegetal que protege esos sitios, hasta un punto compatible con el establecimiento de la plantación. Así, los pastos naturales, la cubierta herbácea o los matorrales bajos y leñosos pueden mantenerse en hileras de contorno. Los sitios también se deben proteger contra el daño causado por incendios, pastoreo y cultivos.

Extensas zonas en el neotrópico que no son apropiadas para la agricultura, tienen pobre drenaje y una baja producción maderera también. Al menos algunas de estas zonas, y posiblemente todos los manglares, tienen valores significativos para la conservación del agua y del hábitat silvestre, lo que podría impedir su uso para la producción de madera.

En climas secos, el uso de estructuras en contorno para atrapar el agua de lluvia es muy común en los trópicos orientales y amerita mayores ensayos en América. Zanjas con barreras cruzadas pueden ser efectivas en tales climas; ya en México han sido ensayados. La tasa de supervivencia de *Chilopsis linearis* se acrecentó en Coahuila del 20 al 100% mediante el uso de estas zanjas (Zapien Barrogán *et al.* 1978). Las salidas del agua se deben planear cuidadosamente, porque la concentración del flujo en una sola abertura puede causar daño a toda la ladera. Bajo condiciones extremas, se ponen tablillas anchas de 30 cm de largo en el suelo cerca la base de árboles recién plantados,

perpendicularmente a las lluvias prevalecientes, para dirigir una mayor cantidad de agua de lluvia hacia los árboles.

La fijación de dunas es un caso especial. Las partículas de arena inestables y finas pueden volar a grandes velocidades sobre la superficie del terreno, presentando un ambiente particularmente adverso para el establecimiento de una cobertura vegetativa. La naturaleza del sustrato de estos sitios también es adversa, ya que la retención de humedad y los niveles de nutrimentos son bajos. Cualquier vegetación natural presente es deseable y se debe dejar. Donde el movimiento de la arena es mayor, se pueden usar barreras de madera u otro material para contrarrestar el movimiento y estabilizar el nivel de la superficie. Quizás sea necesario aumentar la altura de las barreras gradualmente a medida que se cubren, seguido por el plantado de matorrales o árboles. En estos sitios se prefieren especies como *Acacia* y *Pinus*, que tienen copas densas muy cerca del suelo. *Casuarina* resultó exitosa cerca de Veracruz, México. Es esencial proteger por completo las dunas expuestas contra el pastoreo y la quema.

En gran parte de América tropical, el tratamiento químico contra las hormigas defoliadoras también es esencial para el éxito de una plantación. En las plantaciones de *Eucalyptus* de Minas Gerais, Brasil, las hormigas pueden reducir las tasas de supervivencia hasta en un 15% (Simoës *et al.* 1976). El tratamiento se debe extender a las colonias principales, a cierta distancia del área plantada.

Una vez muerta, a menudo es necesario sacar la vegetación para preparar al sitio antes de plantar. El método más común ha sido la quema. Hace muchos años en la India, se reconoció que las quemaduras ligeras no destruyen necesariamente los componentes orgánicos del suelo (Griffith 1946). La quema también reduce la acidez de la capa superficial del suelo y libera cantidades significativas de nitratos. De hecho, la quema sola aumentó significativamente el crecimiento inicial en altura de los árboles plantados, aún hasta el segundo año de vida. La quema ha sido la práctica tradicional asociada con la preparación del sitio para plantaciones de *Eucalyptus* en la India (Lohani 1978).

La quema general después de la cosecha de los terrenos boscosos de miombo en lo que hoy es Zambia favorece a los pastos agresivos (Cooling 1962a). Para la

preparación del sitio, se ha comprobado que es mejor desarraigar los grandes árboles con tractores, excavar los pequeños y dejar que los carboneros limpien el resto. El terreno luego se ara y grada con escarificadores de disco al final de la estación lluviosa, y se deja en barbecho durante la estación de sequía, para evitar que la humedad del suelo desaparezca.

Un estudio sobre la quema como método de preparación del sitio ofrece información de interés (Anón. 1949a). La quema destruye los ácidos orgánicos y libera las bases, tendiendo a neutralizar los suelos ácidos, lo que mejora las condiciones para el crecimiento de las plantas. La quema se ha visto como una práctica que favorece a las bacterias en vez de los hongos, cambiando el equilibrio de nutrimentos disponibles para las plantas. La quema también aumenta la cantidad de nutrimentos minerales solubles en el suelo durante un largo período después de efectuada. Sin embargo, la quema puede destruir algunas materias orgánicas de la capa superficial y puede destruir todas las semillas de la superficie. Los nutrimentos liberados tienden a concentrarse en las cenizas, así que la regeneración quizás sea mejor donde se concentran las cenizas. Uno de los beneficios de la quema quizás sea que reemplaza el Ca de las cenizas.

Los efectos adversos de la quema pueden reflejarse en el comportamiento de los cultivos. En Papúa – Nueva Guinea, la quema de los bosques húmedos después de la extracción, deprimió el crecimiento inicial en altura de una plantación de *E. deglupta* (Lamb 1976). Los árboles plantados en zonas sin quemar tenían alturas superiores en 2,6 m a los nueve meses y 2,9 m a los 15 meses; las diferencias fueron significativas al nivel del 5%. Las concentraciones de nutrimentos en las hojas, incluyendo manganeso (Mn) y boro (B) pero excluyendo P y K, fueron 24% superiores en la zona sin quemar; las diferencias fueron muy significativas. El fósforo y el K fueron significativamente menores (a nivel del 5%). El crecimiento inferior en las zonas quemadas se atribuyó a la pérdida del N con la quema, mientras que la recuperación subsiguiente del N fue muy gradual.

Una vez tratada la vegetación, el suelo también se puede preparar con el propósito de conservar la humedad, eliminar los competidores y mejorar la textura, para que penetren las raíces. Para plantar en zonas de sabana en el norte de Nigeria en terrenos devastados por las minas de estaño, se usaron arados del subsuelo para desmenuzar la tierra de la superficie,

lo que fue importante para el éxito de *E. camaldulensis* (Wimbush 1963). El suelo se escarificó con discos para controlar las malezas. Los tractores y los arados del subsuelo se usaron también para plantaciones de *P. patula* en las praderas montañosas de Madagascar (Vignal 1956). El discado de las plantaciones de *P. elliotii* en el sureste de EE.UU. duplicó la superficie de las raíces, alcanzando profundidades de 30 a 45 cm en el suelo durante un período de 4 a 6 meses, en comparación con sitios donde no se había discado (Schultz 1972).

El uso de maquinaria en la preparación del suelo es ventajoso sólo si el terreno es bueno y la plantación es de gran extensión (Letourneux 1960). La tecnología usada se debe justificar no sólo en términos financieros sino también sociales, a la luz del equilibrio comercial y las necesidades del empleo. También se debe reconocer, sin embargo, que en muchos sitios el tratamiento del suelo intensivo puede aumentar la productividad en buena medida. En el cerrado de Brasil, la tala del matorral con cuchilla rotativa pesada resultó en plantaciones de *E. saligna* que tuvieron un crecimiento inicial en altura un 50% superior al de los sitios donde sólo se había arado y rastrillado (Mello y Rodríguez 1966). Aún las repoblaciones bajo cubierta respondieron significativamente a una buena preparación del suelo (Danso 1966).

En zonas secas, la preparación del suelo se puede hacer principalmente para reducir la pérdida de agua por escurrimiento y evaporación. En regiones de la India, donde la precipitación anual es de menos de 100 cm, los suelos se pueden trabajar a una profundidad de 15 cm a lo largo de las hileras del plantado y se pueden construir lomas o camellones de rocas para controlar la erosión (Laurie 1941a). Se excavaron fosos de 4 a 6 m de largo, 60 cm de ancho y 45 cm de profundidad en suelos rojizos y la tierra se amontonó formando montículos (Muthanna 1941). Las semillas luego se sembraban sobre ellos. En un ensayo de *A. arabica*, el uso de bancales alrededor del árbol casi duplicó el crecimiento inicial en altura (Ahmad 1957). En otras partes los fosos se rellenaban con tierra suelta donde se sembraba después (Singh 1951). En zonas estériles donde se plantó *Anacardium occidentale*, se excavaron hoyos de 50 cm x 50 cm, y se dejó el suelo expuesto durante un mes, luego se devolvió al hoyo y se plantó (Iyppu 1957). En la India, desde hace mucho tiempo, se efectúa la limpieza completa de los terrenos y un arado

profundo para evitar la pérdida de agua (Shetty 1973). En los cerrados del Brasil, por la misma razón, se hace una preparación completa del suelo, incluyendo el discado (Ayling y Martins 1981, Simoes *et al.* 1976). En la India, donde la precipitación anual es menos de 50 cm, el cultivo tipo taungya puede comenzar hasta tres años antes de plantar los árboles (Sweet 1946).

Bajo condiciones extremadamente secas se pueden excavar hoyos bastante tiempo antes de plantar, para aprovechar los períodos cortos de humedad. En la India, se han excavado zanjas de 30 a 40 cm de profundidad antes de la estación lluviosa, ya sea en contorno o a 3 m de separación entre una y otra (Sahai 1945). Luego se sembraron semillas de *Acacia*, *Dalbergia* o *Prosopis*, y se reemplazó con tierra suelta al comienzo de las lluvias (Krishnaswamy 1960).

Espaciamiento entre árboles plantados.

El espaciamiento de los árboles afecta los costos de plantado, la necesidad de tratamientos silvícolas posteriores y los rendimientos. Chapman y Allan (1978) enumeraron los factores que influyen en la elección del espaciamiento en plantaciones tropicales:

- Tasa de crecimiento (cuanto más cerrado el espaciamiento tanto más lenta la tasa de crecimiento).
- Forma del árbol, forma de la copa y grado de poda natural.
- Incidencia de malezas y necesidad de desmalezado mecanizado, sombra lateral por crecimiento natural y limpieza en cultivos taungya.
- Profundidad posible de las raíces (un mayor espaciamiento se necesita cuando las raíces son superficiales).
- Mercadeo de los raleos iniciales y dap final.
- Costos del manejo y de la inversión.

Evans (1992) enumeró algunos de los efectos (buenos y malos) del espaciamiento amplio: preparación del suelo más barata, menos árboles que plantar, mayores tasas de supervivencia, mejores condiciones de plantación y manejo mecanizado, manejo menos intensivo, mayor período de exposición a incendios antes que se cierre el

dosel, ramas más gruesas y persistentes que podar, menor necesidad de raleos precomerciales, menor cantidad de árboles que cosechar por unidad de volumen.

Para el plantado en el campo, el espaciamiento más comúnmente usado variaba de 1,8 m x 1,8 m a 2,5 m x 2,5 m, pero había muchas excepciones. En una zona de Madras, India, se usaron espaciamientos de 1 m x 1 m para la producción de leña de *Casuarina*; los rendimientos fueron de 200 a 250 t/ha de madera seca después de cuatro años (Kaul y Gurumurti 1981). Espaciamientos más cerrados (0,9 m x 0,9 m) se han usado con *Sesbania grandiflora* para rotaciones de leña de tres años. En sitios favorables, los árboles alcanzan una altura de 8 m y un dap promedio de 10 cm con rendimientos de peso seco de 40 t/ha/año (Bhat et al. 1971).

En el sur de Brasil, los espaciamientos de *Eucalyptus* para celulosa comúnmente son de 2,5 m x 2,5 m, o 2 m x 3 m; y los de *Pinus* para pulpa son de 2 m x 2 m y 2,0 m x 2,5 m para madera aserrada (Simoes et al. 1976). Para *P. caribaea* en Venezuela, un espaciamiento común ha sido 2,5 m x 2,7 m (Lama Gutiérrez 1976). Las plantaciones de *Cupressus lusitanica* en Costa Rica se espaciaron a 1,5 m x 1,5 m para fomentar la poda natural (Holdridge 1953).

En Monte Dourado, Brasil, *G. arborea* se ha espaciado a 3,5 m x 3,5 m y *P. caribaea* a 4,0 m x 2,5 m para garantizar el acceso a los árboles (Woessner 1980a). El espaciamiento para *Anacardium occidentale* en zonas estériles de la India puede ser tan amplio como 10 m x 10 m (Iyppu 1957).

Los estudios con *P. elliotii* en el sur de Queensland, Australia, durante 20 años, demostraron el gran valor del espaciamiento amplio para rotaciones largas, a pesar que el rendimiento es menor, lo que refleja la importancia del diámetro del árbol (Cuadro 6-7). *P. elliotii* para madera de aserrío en el sur de Brasil, establecido a 2,8 m x 2,8 m, sólo produjo muy pocos árboles bien formados para la selección final (Fishwick 1976). Además, la cantidad de árboles, cuyo crecimiento no presentó ningún defecto, aumentó con espaciamientos más cortos.

En lo que hoy es Sri Lanka, se efectuaron ensayos en plantaciones de *O. lagopus*, una especie que requiere

Cuadro 6-7.—Efectos del espaciamiento sobre *Pinus elliotii* en Queensland, Australia

Espaciamiento (m)	Productividad (m ³ /ha/año)		Valor relativo por año ^a (%)	
	A 12 años	A 20 años	A 12 años	A 20 años
2.1 x 2.1	13.7	19.5	41	92
3.0 x 3.0	11.1	16.3	39	100

Fuente: Anón. 1972b.

^aComo porcentaje del valor relativo del espaciamiento de 3.0m x 3.0m a los 20 años.

espaciamientos muy amplios, de hasta 3 m x 3 m y 4,6 m x 4,6 m; estos últimos tuvieron los mejores resultados (Parsons 1943, 1944). En la India, los espaciamientos para árboles de balsa variaban de sitio en sitio, desde 3,7 m x 3,7 m a 4,6 m x 4,6 m en sitios pobres, a 5,2 m x 5,2 m en sitios buenos (Nair 1953). En Papúa - Nueva Guinea, el espaciamiento inicial fue de 2,1 m x 2,1 m, pero el raleo al 1,5 años dejó un espaciamiento promedio de 3,9 m x 3,9 m (White y Cameron 1965).

Wardle (1967a) ha demostrado que en Inglaterra el espaciamiento de los árboles puede ser prescrito sobre una base económica con bastante certeza y que la variación de los espaciamientos de cerrados a amplios puede afectar el volumen total de producción en menos de un 10%. Allí, los espaciamientos de 2,4 m producían rendimientos de casi el 95% del máximo de ingresos netos descontados. Los espaciamientos más cerrados aumentaron el volumen pero disminuyeron marcadamente la rentabilidad monetaria. Wardle indica que la producción física, en el sentido exacto de la palabra, es generalmente sólo un objetivo en la decisión sobre el espaciamiento; otros pueden ser el valor en el momento de la cosecha, el valor neto descontado o el riesgo de pérdidas.

Comparaciones de cuatro especies de *Eucalyptus* cerca de Sao Paulo, Brasil, revelaron que un espaciamiento de 1,5 m x 3,0 m rendía una mayor cantidad de madera apilada (y corteza), para tablas de partículas a los cinco años, que un espaciamiento de 2 m x 3 m, pero que el promedio del diámetro era mucho más pequeño (Simoes et al. 1976). Para la fabricación de papel, los espaciamientos más amplios rindieron un mayor volumen de madera utilizable.

Evans (1992) concluyó que para plantaciones de campo, tres tipos de espaciamientos son deseables: 1) para leña de rendimiento máximo anual y sin restricción de tamaño pequeño, 1 m x 2 m; 2) para madera para pulpa con 10 a 40 cm de diámetro, 2 m x 3 m; 3) para madera de aserrío y contrachapados que requieren maderos de 30 cm o más de diámetro, de árboles seleccionados mediante raleos, de 2,5 cm a 4,5 cm.

Los efectos del espaciamiento demasiado cerrado de *L. leucocephala* son evidentes en un estudio efectuado en Taiwán (Wang *et al.* 1984). Se usó el "tipo salvadoreño" de *L. leucocephala* y una densidad de 2 500 a 40 000 árboles por hectárea. El rendimiento a los cuatro años se muestra en el Cuadro 6-8. La alta producción de biomasa mostró que el espaciamiento de 40 000 por hectárea era engañoso. La mortalidad eliminó a 12 000 árboles por hectárea, y el 74 % de los sobrevivientes tenían un dap de menos de 4 cm, por lo que no se podían usar para pulpa. El tamaño final de la plantación se redujo a 7000 árboles por hectárea.

Un experimento similar con *S. sesban* en la India demostró que el dap disminuyó con el espaciamiento más estrecho, pero que el rendimiento aumentó (Cuadro 6-9). A pesar que la última columna del Cuadro 6-9 exagera los resultados porque no incluye la mortalidad, sugiere una comparación inevitable entre los tamaños de árboles, significativa no sólo con respecto a la utilización sino también al costo del manejo.

En las plantaciones tipo taungya, donde los árboles se intercalan con cultivos alimenticios, el espaciamiento de los árboles ha sido amplio para asegurar un período de cosecha lo suficientemente largo como para

Cuadro 6-8.—Efectos del espaciamiento en los rendimientos de biomasa de *Leucaena leucocephala* en plantaciones de cuatro años en Taiwán

Componente arbóreo	Biomasa de los árboles plantados (t/ha)		
	N = 2,500	N = 10,000	N = 40,000
Troncos	36	50	83
Ramas	8	6	11
Hojas	3	3	6
Raíces	11	13	24
Total	58	72	124

Fuente: Wang *et al.* 1984.

Cuadro 6-9.—Efectos del espaciamiento en el volumen de *Sesbania sesban* a los 30 meses en la India

Espaciamiento (árboles/ha)	Dap medio (cm)	Rendimiento (m ³ /ha/año)	No. árboles/m ^{3a}
2,500	7.7	21	48
5,000	6.5	29	69
10,000	5.3	39	103
20,000	4.0	41	195
40,000	3.1	45	356

Fuente: Dutt y Pathania 1986.

^aNo se considera la mortalidad.

recompensar al productor por haber preparado el suelo. Así, en la India, las plantaciones taungya de *Acacia arabica* y *D. sissoo* tienen espaciamientos de 3,7 m x 4,6 m (Sahai 1945). En el antiguo Zaire, donde *Terminalia superba* se había intercalado con cultivos de bananos, el espaciamiento de los árboles variaba 3,7 a 5,5 m (Baur 1964a). En Monte Dourado, Brasil, *Eucalyptus*, *Gmelina* y *Pinus* se han espaciado a 2,25 m x 4,00 m, para prolongar la producción de forraje en sitios donde se planeaba permitir el pastoreo (Woessner 1980a). Las taungyas de *Pinus caribaea* en Trinidad se han plantado a 2,7 m x 2,7 m (Lackhan 1976).

En las repoblaciones bajo dosel el espaciamiento es aún más amplio. El hecho de que se necesitan pocos árboles por unidad de área ha sido un argumento importante para la práctica. Debido a que entre las hileras de plantación hay bosque natural, no es necesario usar espaciamientos estrechos para asegurar la buena forma del árbol. En la República del África Central, el espaciamiento de *T. superba* ha sido de 12 m x 12 m, comparado con el del África de habla francesa, donde la variación de los espaciamientos era de 5 a 20 m entre hileras y de 3 a 7 m entre árboles (Aubreville 1958; Baur 1964a; Catinot 1965, 1969a).

En Malasia, se han efectuado repoblaciones bajo dosel con separaciones de 10 a 12 m entre hileras y 2 m entre árboles (Tang y Wadley 1976a, 1976b). En Fidji, las repoblaciones bajo dosel con *Swietenia macrophylla* se han espaciado aproximadamente a 3 m x 12 m (Busby 1967). En Papúa - Nueva Guinea, se usó *Araucaria hunsteinii* con espaciamientos de 3 m x 7 m (Godlee y White 1976).

El espaciamiento de las repoblaciones bajo dosel se puede definir en función del diámetro de copa de los árboles maduros. En África se recomendó un espaciamiento entre hileras al menos igual al diámetro final de la copa o un poco mayor, para permitir la persistencia de los árboles naturales (Dawkins, citado por Lamb 1969a). Dentro de las hileras, los árboles se espaciaban hasta casi un quinto de la distancia entre hileras, proporcionando así una buena selección de árboles para la cosecha final.

Se ha medido el ancho final de la copa de árboles no apiñados. Como ejemplo, en los bosques de dipterocarpáceas de tierras bajas de Malasia, *Dyera costadata* presentó una razón diámetro de copa/ diámetro del tronco de casi 17, lo que se considera demasiado bajo para un árbol de crecimiento rápido (Wong 1966a). La distancia entre hileras de esta especie con 60 cm dap y una vez alcanzada la madurez, usando un espaciamiento triangular, fue de $0,60 \times 171 / 155 = 8,8$ m. Otros árboles de Malasia tienen una razón diámetro de copa/ dap que varía de 16,5 a 25 (10 a 15 m para los árboles con 60 cm dap), y el espaciamiento de las hileras frecuentemente se calcula como si fuera 1,5 veces esta cifra, con un espaciamiento inicial dentro de las hileras de 1,8 m (Tang y Wadley 1976b).

Las plantaciones en grupos con espaciamiento amplio se han ensayado extensamente en los trópicos, y se asocian con el nombre de Anderson, quien describió este tipo de plantaciones en Escocia y el norte de Inglaterra (Anderson 1953). El concepto de Anderson es que un grupo de árboles, en vez de un sólo árbol, es la unidad de plantación y que las unidades se deben espaciar lo suficiente como para que gran parte del área entre unidades permanezca libre hasta que los árboles plantados maduren. Existen variaciones en cuanto a la cantidad de árboles iniciales por unidad, composición de la unidad, espaciamiento dentro de la unidad, espaciamiento entre unidades y mezcla de especies. La cantidad de árboles por unidad varía de 3 a 25, espaciados a 1 m o menos de separación; los árboles inferiores se ralean temprano para favorecer a los mejores. Las mezclas de especies se pueden alternar dentro o entre grupos. El espaciamiento dentro de las unidades varía de 30 a 150 cm y entre unidades de 2,8 a 7,5 m. En Uganda, el método se ha usado con éxito con espaciamentos de 5 m x 5 m, y una separación interna de 1 m entre árboles (Lawton 1976).

Las ventajas atribuidas al patrón de Anderson son: facilidad para el desmalezado, raleado y cosecha; árboles interiores relativamente libres de ramas y estabilidad contra el viento. Si bien se da una tendencia a que los árboles de la periferia dominen, esto no necesariamente es una desventaja significativa, porque el raleo inicial puede favorecer a los mejores árboles. En Brasil, el gusano barrenador de las Meliaceae rara vez se disemina en toda la unidad, lo que hace que algunos árboles de cada grupo se escapen del ataque.

Una adaptación del patrón de Anderson se ha ensayado en Surinam con *Cordia alliodora* (Vega 1977). Se plantaron árboles en espaciamentos triangulares con 1 m de separación en bosques secundarios, justo después de haber envenenado a los árboles del estrato superior. Las unidades se espaciaron a 5 m x 10 m; 200 árboles por hectárea, con una cosecha esperada de 130 a 150 árboles. Ensayos en Brasil usan espaciamentos más pequeños dentro de la unidad, pero las unidades están separadas por 20 m.

El espaciamiento involucra mucho más que la cantidad de árboles requerida y la facilidad de las prácticas de manejo inicial. De igual importancia son los efectos sobre la rectitud del tronco, podado natural y artificial, forma del fuste, incremento diamétrico y tamaño de los árboles al primer raleo.

Estudios de estas relaciones se han efectuado bajo condiciones tropicales, o cuando las conclusiones de algún estudio se pueden aplicar a los trópicos. Un experimento para la producción de leña con *E. saligna* en Sao Paulo, Brasil, ilustra los resultados con distintos espaciamentos (Cuadro 6-10). La rentabilidad de la inversión probablemente favoreció el espaciamiento más amplio aún más de lo que se indica, debido a que se usó un valor constante por metro cúbico, sin tomar en consideración la probable reducción de costos al manejar menos piezas de mayor tamaño, que se obtuvieron con el mayor espaciamiento.

Un ensayo de espaciamentos en Kenia con maderas blandas exóticas comparó el crecimiento a los diez años entre los siguientes espaciamentos: 1,8 m x 1,8 m; 2,1 m x 2,1 m; 2,4 m x 2,4 m y 2,7 m x 2,7 m (Anón. 1962a). El tamaño promedio de las ramas y la altura promedio de todos los árboles se redujo por el espaciamiento, pero para los 250 árboles más grandes

Cuadro 6–10.—Efectos del espaciamiento en la productividad de *Eucalyptus saligna* a los ocho años de edad en Sao Paulo

Espaciamiento (m)	Árboles/ha (miles)	Dap medio (cm)	Rendimiento (m ³ /ha/año)	Rendimiento de la inversión (%)
1 X 1	10.2	7.2	33.4	-3.7
1 X 2	5.2	8.6	33.2	3.4
2 X 2	2.6	11.8	30.8	15.8
2 X 3	1.7	12.5	25.8	20.4

Fuente: Guimaraes 1957, Navarro de Andrade 1939.

por hectárea, la altura promedio fue levemente mayor en los espaciamientos menores que en los amplios. El diámetro de los 250 árboles más grandes por hectárea fue el mismo, independientemente del espaciamiento. El espaciamiento más amplio produjo muchos árboles mal formados, algunos de ellos grandes. Al raleo, se obtuvo un diámetro promedio más pequeño para el cultivo restante que el de los dos espaciamientos intermedios.

En un estudio con *E. saligna* en Hawái, la tasa de crecimiento diamétrico de árboles dominantes y codominantes fue menos afectada por el espaciamiento que el rodal entero (Cuadro 6-11). El crecimiento de los árboles dominantes continuó siendo beneficiado hasta el décimo año.

Otro estudio en Hawái con *P. taeda* (Whitesell 1974) determinó el cierre de copa a los cuatro años con el espaciamiento de 1,8 m x 1,8 m; al séptimo año con los espaciamientos de 2,4 m x 2,4 m y 3,0 m x 3,0 m, y al onceavo año para 3,7 m x 3,7 m (Cuadro 6-12). Los efectos progresivos de los espaciamientos fueron

aparentes aquí también. Los beneficios del espaciamiento sobre el incremento diamétrico continúan aumentando con el tiempo. El incremento en área basal aumenta con el espaciamiento en la misma medida que disminuye con los menores espaciamientos.

Otro estudio con *P. taeda* en el sureste de EE.UU. muestra la influencia del espaciamiento sobre el volumen cosechable (Balmer *et al.* 1978). La edad de la plantación (15 años) no es indicativa para los trópicos, pero las relaciones sí lo son (Cuadro 6-13). Un espaciamiento de 3,0 m x 3,0 m rindió más de tres veces el número de árboles con dap mayor de 20,3 cm que un espaciamiento de 1,8 m x 1,8 m.

El espaciamiento triangular tiene sus defensores, quienes lo ven como una manera de distribuir el espacio más uniformemente entre los árboles plantados. Cada árbol se coloca en el centro de un hexágono formado por seis árboles y equidistante de todos sus vecinos. El espaciamiento triangular permite un 15% más árboles por unidad de área que un espaciamiento

Cuadro 6–11.—Efectos del espaciamiento y crecimiento de *Eucalyptus saligna* a los cinco años en Hawái

Espaciamiento (m)	Dap medio (cm)		Área basal (m ² /ha)	Incremento basimétrico comparativo 5–10/0–5 años ^a (%)	
	Dominantes y codominantes	Todos los árboles		Dominantes y codominantes	Todos los árboles
2.4	19.0	15.7	33.6	0.98	0.51
3.0	21.3	17.8	27.6	1.01	0.54
3.7	21.8	18.8	20.3	1.05	0.64

Fuente: Walters 1973, Walters y Schubert 1969.

^aIncremento del área basal entre el 5o. y 10o. año como porcentaje del crecimiento de los primeros cinco años.

Cuadro 6–12.—Influencia del espaciamiento en el crecimiento de *Pinus taeda* en Hawai

Espaciamiento (m)	Desarrollo comparativo de la plantación ^a (%)					
	Diámetro del fuste			Área basal/ha		
	4 años	7 años	11 años	4 años	7 años	11 años
1.8	100	100	100	100	100	100
2.4	107	117	119	62	72	79
3.0	107	128	136	43	59	67
3.7	117	143	153	35	51	60

Fuente: Whitesell 1974.

^aCon relación a 100 en el espaciamiento de 1.8 m.

cuadrangular, o una distancia mínima entre los árboles del 7,5% (Wakeley 1954). El espaciamiento triangular es de interés especial en los estudios experimentales de espaciamiento, pero requiere más cuidado en la alineación de lo que se puede justificar en plantaciones a gran escala.

Mirando hacia el futuro, Lewis (1968) concluyó que las ventajas de tener un núcleo pequeño de madera juvenil y ramas pequeñas, que desde hace mucho tiempo son las razones por las cuales se usan espaciamientos estrechos, probablemente deberán ser sacrificadas en un momento en que se privilegia la cantidad más que la calidad.

Guía para el establecimiento de plantaciones. El diseño de una plantación requiere prudencia y planificación. Se debe tener acceso al área, y protección desde el principio contra incendios y daños de la fauna. La alineación de los árboles es importante en todos los

Cuadro 6–13.—Espaciamiento y rendimiento de *Pinus taeda* a los 15 años en el sureste de los EE.UU

Espaciamiento (m)	Árboles por hectárea	
	Dap > 15.2 cm	Dap > 20.3 cm
1.8	1,373	111
2.4	1,388	496
3.0	1,008	652
3.7	699	642

Fuente: Balmer *et al.* 1978.

terrenos, excepto en los más escabrosos. Las hileras derechas facilitan el raleo (Brown 1965) y el uso de equipos mecánicos para el manejo y la cosecha; también promueven un espaciamiento uniforme, y por lo tanto, el uso más completo del sitio. Las plantaciones comúnmente se diseñan con dos largas cintas que marcan la distancia de plantado. Las cintas se disponen en ángulo recto y se mueven gradualmente a través del terreno para poner una estaca en cada sitio donde se plantará un árbol. Esta tarea debe hacerse antes que llegue el tiempo de plantar. En un terreno escabroso de México, se marcó el borde de la plantación, luego los plantadores usaron el espaciamiento de la primera hilera como guía para ubicar los árboles de cada hilera subsiguiente (Martínez McNaught 1978). El uso de una sola cinta es adecuado cuando se planta con máquina.

La plantación en todos los sitios, excepto los más favorables, se hace manualmente en los trópicos. El gran proyecto de Monte Dourado, Brasil, al menos hasta 1980, se plantó a mano (Woessner 1980a, 1980b). La mayoría de los sitios tropicales apropiados para plantaciones forestales no favorecen el uso de maquinaria, como tampoco lo favorecen los plántones envasados. Las plantas se transportan a lo largo de las hileras de plantación en bandejas y en un medio húmedo para proteger las raíces. Se abren hoyos en el suelo del tamaño y forma para acomodar el sistema de raíces de los árboles en una posición natural. Cuando se planta a raíz desnuda, el hoyo se puede hacer con una barra provista de una cuchilla en forma de pala estrecha o con una pala regular. El peligro es que con el afán de minimizar el trabajo, se abra un hoyo demasiado pequeño por lo que las raíces quedan apiñadas cuando se tapa el hoyo. Cualquiera que sea la herramienta usada, el árbol debe quedar a la misma profundidad que estaba en el vivero (el cuello de la raíz debe estar a ras del suelo).

La tierra se apisona firmemente con el zapato alrededor de los árboles plantados. No deben quedar bolsas de aire en el suelo cerca de las raíces. El suelo arcilloso duro y apisonado de la superficie se debe mezclar con hojarasca alrededor de los árboles para evitar altas temperaturas en la superficie y una evaporación rápida.

Excepto cuando las plántulas están en tubos pequeños y rígidos, los hoyos para plantar existencias envasadas deben ser mayores que si se plantara a raíz desnuda. Estos hoyos comúnmente se hacen con un zapapico. Este proceso tiende a mezclar suelo superficial y

subsuelo y a exponer terrones duros. Cuando el envase se abre o se quita con cuidado, es mejor poner primero suelo superficial en el hoyo, cerca de la masa de raíces y luego rellenar con subsuelo, despedazando los terrones. El apisonado se debe hacer con cuidado cerca de la masa de raíces, pero repetidamente a medida que el hoyo se va llenando. En las zonas secas de los trópicos, los hoyos a veces se abren a principios de la estación lluviosa para capturar el agua antes de plantar (Mathus Morales 1978b).

Una gran ventaja de los envases pequeños tubulares es que requieren hoyos pequeños y cilíndricos, que se pueden hacer con la punta de una barra de metal. Se debe tener un cuidado especial para asegurar que la profundidad sea correcta y que el apisonado elimine las bolsas de aire.

Los árboles recién plantados deben poder identificarse con facilidad para efectos del desmalezado. El uso de plantones de gran tamaño puede facilitar esta tarea, pero más vale poner una estaca cerca de los arbolitos más pequeños. La posibilidad de ubicar los árboles fácilmente es una razón para plantar en hileras derechas.

El uso de máquinas para plantar ha acelerado mucho el proceso en sitios apropiados; pero este método se limita a sitios extensos, relativamente llanos, ni pantanosos ni rocosos, y situados en climas donde se espera que sobrevivan los plantones a raíz desnuda. Las máquinas usan una cuchilla vertical para cortar el suelo hasta la profundidad deseada; luego, una cuchilla en forma de cuña abre el corte lo suficiente como para permitir que las raíces se coloquen a mano en la abertura. El corte se cierra mediante la presión de dos ruedas de goma montadas una al lado de la otra, en forma de "V". Con un mismo tractor se pueden plantar dos hileras a la vez. Es posible plantar hasta 12 000 árboles por máquina por día (Chapman y Allan 1978). Las máquinas se han utilizado eficazmente en el este de Venezuela y sur de Brasil. El proyecto mecanizado más grande de la región puede ser el de *P. caribaea*, plantado en sabanas en la cuenca inferior del Orinoco venezolano. Si bien ha habido pérdidas de existencias a raíz desnuda como resultado del clima seco inesperado, el replantado también se ha hecho a máquina, debido a la gran escala de la operación.

En los manglares de Malasia, *Rhizophora mucronata* se planta manualmente, empujando los hipocotilos recién

germinados profundamente en el barro blando (Walker 1938).

Algunos piensan que en condiciones de clima seco, los plantones se deben colocar a mayor profundidad que en el vivero, pero los ensayos en Sudán con *Azadirachta indica* indican que en los sitios secos, los árboles se deben plantar a la misma profundidad que en el vivero; esto es, con el cuello de la raíz a ras del suelo (Reynders 1965). También, se ha puesto en duda si se debe sacar la bolsa plástica en tales condiciones; los resultados de ensayos con *E. microtheca* en Sudán sugieren que dejar las bolsas puestas retrasa seriamente el desarrollo de las raíces y reduce la resistencia a la sequía y al viento (Wunder 1966). Por otro lado, en los bosques de miombo en lo que hoy es Zambia, *Eucalyptus* ha sido establecido con éxito, dejando los tubos de polietileno sin fondo, de casi 9 cm de ancho y 15 cm de largo (Cooling 1962a).

Los ensayos de siembra directa en Kenia con *Cupressus lusitanica*, *P. patula* y *P. radiata* comprobaron la eficacia de usar tablillas de bambú para dirigir la lluvia hacia el árbol (Howland y Hosegood 1965). Se colocaron tablillas de 1 m de largo y 2,5 cm de ancho en el suelo, en forma perpendicular a la inclinación regular de la lluvia; cada árbol también estaba rodeado en su parte inferior por una manga de bambú cuyo propósito era retener el agua de la superficie. Las tablillas y las mangas fueron esenciales para la supervivencia de los árboles, ya que de ese modo recibían un 60% más de agua de lluvia.

El costo y calidad del trabajo de plantación dependen de la pericia del trabajador. Para plantar a mano, se requiere un supervisor por 10 a 16 trabajadores. El tiempo del trabajador se debe equilibrar juiciosamente entre el transporte y el plantado. La marcación con estacas de los sitios donde los árboles se han de plantar –si se hace al mismo tiempo que el plantado– debe organizarse como una operación independiente y hacerla justo antes que los plantadores comiencen su trabajo. Las bandejas donde se guarda el material de plantación, protegido del sol y el viento, pueden ser transportadas por los plantadores mismos, y cada uno hace el hoyo, planta el plantón y cubre las raíces. En terrenos difíciles, un trabajador hace un hoyo y otro planta. El supervisor verifica no sólo el apisonado del suelo, sino también la profundidad del plantado y el acomodo del sistema radicular.

En el neotrópico, la mayoría de los árboles han sido plantados por trabajadores rurales no capacitados, bajo el supuesto de que los que plantan otros cultivos saben lo que hacen; una suposición suficientemente válida como para haber rendido muchas plantaciones exitosas. Un resultado de este supuesto, sin embargo, son las pérdidas inesperadas debido al cuidado inapropiado del plantado. La capacitación inicial debe incluir un curso, cuyo énfasis es el propósito e importancia del trabajo, una demostración cabal de cada práctica y una supervisión estrecha del trabajo inicial efectuado. También es esencial instruir a los trabajadores sobre cómo prevenir accidentes y dar auxilio en caso de emergencia. El equipo de seguridad mínimo incluye zapatos especiales, espinilleras, guantes, cascos y caja de primeros auxilios.

La capacitación del equipo a cargo del plantado mecanizado debe ser más intensiva, e involucra lo siguiente: uso, cuidado y mantenimiento del equipo mecánico; riesgos inherentes y evitables; prevención de accidentes y reacción en caso de accidentes. El acceso a los equipos de seguridad y a los materiales de primeros auxilios también es particularmente importante.

Aditivos del suelo. Los árboles, como cualquier otro cultivo, requieren una absorción equilibrada de 13 elementos esenciales para un crecimiento satisfactorio (Swan 1968). Estos incluyen los macronutrientes (N, P,



Fig. 6-5.—El crecimiento del primer año de *Pinus caribaea* fue inducido colocando fertilizante en el fondo del hoyo en el momento mismo del plantado en un sitio pobre de Jamaica.

K, Ca, Mg y S) y los micronutrientes u oligoelementos (B, Cu, Fe, Zn, Mn, Mo y Cl) (Chapman y Allan 1978). Las deficiencias de nutrientes son comunes en los suelos marginales plantados con árboles. Los bosques tropicales comúnmente crecen en suelos deficientes en nutrientes, arenas silíceas o arcillas muy lixiviadas. Después de la deforestación, estas deficiencias naturales del suelo se pueden mejorar sólo con fertilización.

El uso de fertilizantes en plantaciones forestales ha sido menos generalizado en América que en cualquier otro sitio de los trópicos, aunque los beneficios han sido impresionantes en algunas instancias. Se ha comprobado que los fertilizantes son capaces de aumentar la adaptación de distintas especies, además de mejorar su resistencia contra plagas y enfermedades (Baule 1979). Un estudio efectuado por FAO examinó el uso de 13 000 fertilizantes y demostró un aumento en el promedio de crecimiento del 73% con la aplicación de fertilizantes, además de un aumento en la razón valor/costo (Phillips 1972).

El hecho de añadir nutrientes al suelo puede acelerar el crecimiento de los árboles y de los rodales en bosques tropicales; esta reacción puede durar muchísimos años (Swan 1968). Las posibles ganancias con la corrección de las deficiencias del suelo forestal en los trópicos son más inmediatas y grandes que las producidas por otras formas de silvicultura intensiva (Assman 1970). Para la mayoría de los usos finales, la madera de árboles que reciben nutrientes complementarios es muy poco inferior en calidad en relación con la madera de árboles no fertilizados.

El proceso de preparar el suelo para establecer plantaciones forestales acentúa las posibilidades de que se encuentren deficiencias en nutrientes. La extracción de árboles enteros, la tala y la quema drenan los nutrientes del sitio y causan deficiencias justo cuando los nuevos árboles más los necesitan (Waring 1972). Los estudios en Kenia demostraron que el crecimiento de las raíces de *E. saligna* hacia las capas inferiores húmedas del suelo empieza a las dos semanas de haber sido plantados (Griffith y Howland 1962). La reacción de los árboles recién plantados a los aditivos del suelo ha confirmado que necesitan nutrientes en forma casi inmediata (Fig. 6-5).

El control de las malezas y el suministro de nutrientes son esenciales para el crecimiento inicial de los árboles en los trópicos. Las ganancias en productividad son

permanentes y el potencial total de crecimiento de un sitio es aprovechado por el árbol desde el principio (Waring 1972). Un aumento en los niveles de nutrientes también puede aumentar la cantidad de especies o procedencias que pueden crecer, además de su resistencia a plagas y enfermedades (Baule 1979). El uso racional del fertilizante mineral, la selección apropiada de procedencias geográficas y la adquisición de semillas de buena calidad son los tres requisitos silvícolas más importantes en Brasil (Golfari 1977). A pesar de estos beneficios, sólo una parte insignificante de los terrenos plantados con árboles en los trópicos ha sido fertilizada (Baule 1979).

El mejor momento para fertilizar es cuando se planta. El fertilizante se debe colocar en el fondo del hoyo, fuera del alcance de las raíces de las malezas. Es deseable mezclar el fertilizante con una pequeña cantidad de tierra para evitar que las raíces del árbol se “quemén”. La cantidad y mezcla de nutrientes o fertilizantes no se debe dejar al azar. Una guía posible es la práctica agrícola en la región. Otra fuente posible es el análisis del suelo, o ensayar en zonas representativas, las reacciones (en términos del crecimiento temprano de los árboles) a las distintas cantidades de cada nutriente y combinación de los mismos, usando árboles sin fertilizar como control.

Los fertilizantes químicos son sólo una fuente de nutrientes. Durante siglos los agricultores han aplicado residuos orgánicos a sus cultivos. Los árboles se benefician con cualquier residuo dejado por el bosque o cultivo anterior.

La atención a los nutrientes del suelo comenzó hace tiempo en la India, donde las viñas leguminosas de *Ipomea* se intercalaron con plantaciones de *Casuarina equisetifolia* en playas arenosas para suministrar N (Sharma 1951). Luego se supo que esta práctica no producía beneficios de importancia, evidentemente porque *C. equisetifolia* produce mucho de su propio N.

En el norte de Nigeria se trató de reforestar terrenos devastados por las minas de estaño con *E. camaldulensis* en un subsuelo desnudo; se añadió a cada árbol media pala de fertilizante orgánico refinado y casi 90 gramos de sulfato de amonio (Wimbush 1963). Los árboles crecieron de 3 a 4 m en altura el primer año. Sin la aplicación del fertilizante orgánico, el crecimiento en altura fue de la mitad.

El uso de abono verde en las plantaciones tropicales comenzó hace tiempo con la teca en Java (Alphen de Veer 1958b, Sieverts 1958). La teca crecía de modo poco satisfactorio en suelos pobres; casi un mes después de plantada, se intercalaron árboles de *Leucaena leucocephala*, una especie que se considera produce N. Sin embargo, *L. leucocephala* tendió a competir con la teca, a expensas de esta última. Pero la poda severa de *L. leucocephala* tres veces al año y dejar las ramas alrededor de la teca fue un estímulo muy efectivo para la teca (Alphen de Veer 1958b).

El fertilizante inorgánico mixto en el fondo del hoyo en el momento del plantado, generalmente acelera el crecimiento inicial en altura. Los *Eucalyptus* plantados en tubos en sitios pobres de Hong Kong alcanzaron altas tasas de supervivencia, pero el crecimiento inicial fue lento (Anón. 1954f). La adición de 15 a 30 g de sulfato de amonio por árbol en el momento del plantado aumentó el crecimiento en altura en un metro o más en pocos meses.

En Colombia, se descubrió que el pobre crecimiento de *Cupressus lusitanica* se debía a deficiencias en P y N (Tschinkel 1972g). La aplicación de P solamente aumentó el crecimiento en volumen del rodal en un 53%; al añadir N solamente, el aumento fue del 58%. Pero cuando se aplicaron las dos sustancias juntas, el volumen del rodal aumentó un 230%. En Filipinas, la aplicación de fertilizantes 12-12-12 y 16-20-0 a *E. deglupta* aumentó la altura del árbol en 2 m en seis meses; no hubo una diferencia pronunciada entre las reacciones a las dos mezclas de fertilizantes (Tagudar y Gianan 1970). En Brasil, la aplicación de NPK aumentó enormemente el crecimiento en altura de *Eucalyptus* al año. Una diferencia de tan sólo 1 m más de altura permitió recuperar el gasto en fertilizante (Foot 1968a).

Un ensayo de tratamiento de *E. saligna* en las sabanas de Minas Gerais, Brasil, arrojó rendimientos significativos con la aplicación de 60 g de N, 80 g de P y 20 g de K por árbol (Knudson *et al.* 1970). Los árboles tratados tuvieron un promedio de 7,2 m en comparación con 4,2 m para los árboles sin tratamiento, a los dos años. Al añadir pequeñas cantidades de B y Zn, el promedio en altura de los árboles tratados aumentó a 9,1 m. En otro experimento con *E. saligna* en Sao Paulo, la aplicación inicial de un fertilizante 5-17-3 rindió a los cinco años 266 m³ de madera apilada por hectárea en comparación con 150 m³ para los árboles

de control sin tratamiento (Simoes *et al.* 1976). La fertilización aumentó el rendimiento promedio del eucalipto en Brasil a 35 m³/ha/año (Golfari 1977).

La aceleración del crecimiento mediante fertilización a *P. caribaea* y *P. patula* en Uganda, se limitó a los árboles plantados en suelos arenosos y rojos muy lixiviados (Karani 1976b). En términos de supervivencia y crecimiento inicial, el fertilizante no sustituyó a la limpieza de malezas. Los pinos, particularmente, han tenido reacciones imprevistas a los fertilizantes bajo muchas condiciones. En Uganda, *P. caribaea* y *P. patula* reaccionaron a varios fertilizantes sólo en los suelos más pobres arenosos y de arcillas lixiviadas (Karani 1976b). En un sitio, las reacciones más significativas del crecimiento se atribuyeron a Mg y K.

Recientemente se ha ensayado con fertilizantes de liberación lenta, como método para prolongar el estímulo al crecimiento inicial. Al colocar ese tipo de fertilizante a 8 cm de las raíces del árbol en el hoyo en el momento del plantado, se obtuvo una diferencia significativa en el crecimiento al final del primer año para *Toona ciliata* en Hawai (Walters 1975). Este ensayo se hizo en pastos pesados, que también crecieron mejor debido al tratamiento, pero los árboles crecieron más que el pasto.

El nitrógeno ha resultado ser el elemento clave en la mayoría de los ensayos de fertilizantes en los trópicos. El efecto principal del N es aumentar el área de las hojas (Helms 1976). En un ensayo con *E. deglupta* en Papúa - Nueva Guinea, el crecimiento en altura aumentó con el N foliar (Lamb 1977), el cual dio cuenta del 72% de la variación en altura a los 15 meses.

El nitrógeno generalmente estimula el crecimiento más que cualquier otro mineral. El ancho de los anillos de crecimiento de los pinos en la zona templada aumenta con el contenido de N en las agujas (Assman 1970). Un ensayo con *E. camaldulensis* en Filipinas, en el cual se usaron N, P, y K, mostró que la respuesta en crecimiento provenía solo del N (Mencoza y Glori 1974).

Una aplicación ligera de N (43 kg/ha), en el momento de la siembra de *L. leucocephala* en Papúa - Nueva Guinea ayudó al crecimiento sin inhibir la formación de nódulos (Cuadro 6-14). Las aplicaciones de N ayudaron a *L. leucocephala*, aunque las parcelas se desmalezaran o no; pero la cantidad de fertilizante no influyó en el crecimiento en parcelas desmalezadas.

La escasez de N en la naturaleza puede limitar la ocurrencia natural de ciertas especies arbóreas. En las tierras bajas del litoral de Queensland, Australia, *Araucaria cunninghamii* no ocurre naturalmente (Richards 1962). En los suelos lateríticos y podzólicos, las plantaciones con esta especie fracasaron y fueron reemplazadas por *P. taeda*. Una vez que este se estableció, los árboles sobrevivientes de *A. cunninghamii* empezaron a mejorar; aparentemente, porque necesitaban el N que *P. taeda* de algún modo les suministraba (Richards 1962). Esta teoría se apoya en el hecho de que las plantaciones puras de *A. cunninghamii* tienen un mejor desempeño con aplicaciones de 120 kg/ha/año de fertilizante (Richards 1967). Sin embargo, todavía no se ha comprobado la capacidad fijadora de nitrógeno de los pinos, aunque algunos lo afirman. El N quizás proviene de otros organismos que los pinos favorecen. Las leguminosas nativas no suministran suficiente N para *A. cunninghamii*. La hojarasca de los pinos no parece ser una fuente de N porque *A. cunninghamii* prospera en zonas donde los pinos escasean, en aperturas lejos de la hojarasca de los pinos pero no de sus raíces. Se postuló que *P. taeda* quizás reprima algunos organismos que dañan a la araucaria (Richards 1962). La "preparación" del sitio por parte de *P. taeda* lleva de cinco a seis años. La repoblación con araucaria bajo cubierta de *P. taeda* parece ser prometedora.

Las aplicaciones solas de N parecen poco predicibles (Swan 1969). Muchos experimentos han demostrado resultados distintos para tales tratamientos, y la importancia igual de P y K se ha demostrado repetidamente. Se necesitan mayores investigaciones al respecto para poder distinguir claramente las causas de los problemas.

Cuadro 6-14.—Beneficios de la aplicación de nitrógeno y desmalezado en la producción de forraje de *Leucaena leucocephala* en Papúa-Nueva Guinea (kg/ha)

Aplicación de nitrógeno	Peso verde de forraje a las 9 semanas	
	Sin desmalezado	Con desmalezado
0	750	960
34	830	1,650
68	1,090	1,650

Fuente: Hill 1970.

El crecimiento en plantaciones de *P. caribaea* en las zonas arenosas del litoral de Tanzania disminuyó en sitios donde se aplicó un fertilizante a base de N, sin P (Dick 1969). La causa, según las conclusiones, fue una seria deficiencia de fósforo. Una reacción semejante, que produjo crecimientos pobres, se registró en un experimento controlado de *P. caribaea* en Queensland, Australia (Cameron *et al.* 1981). La aplicación de N y de oligo-elementos hizo que se redujera el peso seco después de 238 días. Estos mismos aditivos estimularon el crecimiento con la presencia de fósforo.

Un estudio más elaborado con *P. radiata* en Australia iluminó la interacción entre el nitrógeno (N) y el fósforo (P) (Waring 1968). Se hicieron aplicaciones cinco veces durante los primeros cuatro años de la plantación. Nitrógeno, en forma de urea, se aplicó a razón de 50 g por árbol, o sea 600 kg/ha. El fósforo (fosfato de calcio) se aplicó a razón de 20 g por árbol, o sea 235 kg/ha. El nitrógeno y el fósforo juntos produjeron casi tres veces el crecimiento en altura y cinco veces el crecimiento en área basal, en comparación con los árboles de control. El fósforo por sí solo casi duplicó la absorción del N del suelo, en comparación con los árboles de control. Los árboles que recibían tanto N como P absorbieron más de seis veces N que los árboles de control, o casi el 25% del N aplicado. Los árboles que recibían N y P absorbieron el 18% del P aplicado en comparación con sólo el 3% de los árboles que recibían la misma cantidad de P sin N. El hecho de añadir P aumentó la absorción de N en un 50%, aparentemente debido al aumento de la mineralización del N, o una mejor explotación del suelo por el crecimiento estimulado de las raíces. La absorción de P con N añadido (pero sin añadir P) fue sólo el 60% de lo que era sin añadir N, lo que indica un aumento de la deficiencia de P ante la presencia de N.

Un ensayo de aplicación de N, P y K en el momento del plantado, efectuado en todo Australia, demostró que *E. globulus*, una de las especies más plantadas en el oeste de América tropical, reaccionaba más al fertilizante que varias otras especies de *Eucalyptus* (Cromer *et al.* 1981). La aplicación de N y P afectó la razón N/P en las hojas. Una razón de casi 15:1 parecía apropiada para *E. globulus*, porque por encima de ese nivel, la especie reaccionaba a la aplicación del P y por debajo, a la aplicación de N.

Aunque el análisis foliar ha sido útil para medir las deficiencias de nutrimentos en los trópicos, Evans (1992) cita datos de *G. arborea* que indican una gran necesidad de procedimientos estandarizados para la recolección de muestras de hojas para los análisis comparativos (Cuadro 6-15).

Pinus caribaea bahamensis en un sitio cerrado con suelos pobres y ácidos en Sao Paulo, Brasil alcanzó un crecimiento en altura al año de 1,3 m en comparación con 0,8 m para el control; aparentemente la diferencia se debía principalmente a que se había añadido P y Ca (Simoes *et al.* 1976). La experiencia en Colombia parece confirmar la importancia de estos dos nutrimentos (Ladrach 1974). *Cupressus* también fue estimulado por Ca en la misma forma. Ensayos con *E. grandis* han demostrado la necesidad de boro (B) (Chapman y Allan 1978); sin él, no se lograron rendimientos de madera para la venta, pero con él, los rendimientos alcanzaron un promedio de crecimiento anual de 25 m³/ha. Estudios en Colombia también demostraron que la aplicación de B era beneficiosa para *E. grandis* (Cannon 1981).

En Australia, donde la productividad de cultivos sucesivos de *P. radiata* ha estado bajo estudio intensivo, el uso de fertilizantes se ha convertido en una necesidad. Se ha llegado a la conclusión que cualquier disminución en la fertilidad del suelo se puede contrarrestar con un buen uso de leguminosas y fertilizantes a base de N (Waring 1968).

Cuadro 6-15.—Variación de nutrimentos en las hojas de un árbol de *Gmelina arborea*

Ubicación de las hojas	Nutrimento (% de peso seco al horno)			
	N	P	K	Ca
Copa superior				
Extremo superior	2.10	0.11	1.5	1.0
Exterior	1.86	.11	1.6	1.0
Interior	1.69	.10	1.1	1.8
Copa inferior				
Exterior	1.79	.11	1.5	1.5
Interior	1.39	.08	1.6	1.7

Fuente: Evans 1992.

Nota: N = Nitrógeno

P = Fósforo

K = Potasio

Ca = Calcio

La irrigación en plantaciones para leña es frecuente en las zonas secas de los trópicos. En Changa Manga, Paquistán, las plantaciones de *D. sissoo* han recibido casi cuatro veces la cantidad de agua usada localmente para la agricultura (Tahir y Ali 1974). Después de un siglo produciendo leña, la superficie del suelo tenía cuatro veces más cantidad de materia orgánica que el suelo virgen y cinco veces más N; el contenido de P y K, sin embargo, era menor.

Este capítulo ha presentado una variedad de experiencias en cuanto a los requerimientos de nutrimentos de los árboles plantados, algunos con

resultados que aparentemente parecen estar en conflicto. Lo que se ha ilustrado es que las condiciones varían enormemente y que los requerimientos también reflejan esa variación. Normalmente, la aplicación de fertilizantes inorgánicos se debe considerar sólo para complementar el nivel natural de nutrimentos; pero en la medida en que se desconoce cuál es ese nivel, la aplicación de fertilizantes puede producir resultados inesperados, ya sean positivos o negativos. En el pasado, el tanteo a escala experimental ha sido la base de muchos de los descubrimientos. En el futuro, las aplicaciones de fertilizantes se deben basar más en análisis previos de los nutrimentos del suelo.

