

Capítulo 5

Plantaciones Forestales: Políticas y Avances

La extracción maderera en los trópicos comúnmente ha dado lugar a la deforestación y a la agricultura que degradan al suelo, inhibiendo la posibilidad de cultivo o pastoreo continuos. La agricultura persiste en los mejores sitios, dejando que los peores vuelvan a reforestarse; de estos últimos, los mejores podrían ser apropiados para plantaciones forestales.

Champion (1949) reconoció la creciente necesidad por plantaciones. Indicó que existen millones de hectáreas de terrenos que deberían ser reforestados lo más pronto posible para el beneficio de la sociedad. Declaró, además, que aunque la tecnología para la restauración de los bosques quizás esté basada en una comprensión parcial de los principios fundamentales, el trabajo debe proceder conforme con el conocimiento actual. Sus puntos de vista son todavía válidos.

La extensión final de las plantaciones forestales en los trópicos la determinará su capacidad de competir con otros usos del suelo, satisfacer la creciente demanda por madera, superar la producción de fuentes alternas de la madera y proteger el ambiente para las generaciones futuras. A pesar de lo incierto de las predicciones a largo plazo, las plantaciones forestales recientemente han atraído mayor interés e inversiones que el manejo de los bosques naturales, debido principalmente al potencial alto de su productividad. Este capítulo se dedica a este y otros asuntos vinculados con las decisiones de si se deben efectuar plantaciones, y si es así, cuánto y qué se debe plantar.

Earl (1972) describió cómo el énfasis en las ganancias comerciales condujo a rotaciones más cortas y rodales puros de edad uniforme (plantaciones). Predijo que la demanda por madera para leña aumentaría al menos durante 50 años, aún si se pudiera encontrar una fuente de energía infinita y no contaminante.

La FAO (Anón. 1981g) resumió la necesidad de plantar bosques de la siguiente manera:

- Se estima que el déficit actual de leña en los trópicos es equivalente a la producción de casi 48 millones de hectáreas de plantaciones para leña.
- Se necesitarían casi 30 millones de hectáreas de plantaciones con especies latifoliadas tropicales bajo manejo intensivo, para cumplir con la demanda esperada de madera para aserrío, que actualmente se está cosechando en los bosques primarios tropicales.

Ladrach (Anón. 1985f) indicó que en comparación con el pastoreo tradicional, las plantaciones forestales requieren más cantidad de mano de obra. Tomando la madera de pulpa de pino en una rotación de 15 años como ejemplo, concluyó que el empleo es cinco veces mayor en las plantaciones forestales que en la producción de forraje y, sin embargo, el bosque *plantación* puede crecer en suelos más pobres.

Hay disponibles dos referencias valiosas sobre plantaciones forestales en los trópicos. Evans (1992) da énfasis al planeamiento de plantaciones, tomando en cuenta los factores sociales y económicos y describiendo las prácticas, desde el establecimiento hasta la cosecha. Zobel *et al.* (1987) clarifican los malentendidos sobre las especies exóticas y documentan los altos rendimientos que se pueden alcanzar mejorando los árboles de las plantaciones.

Argumentos a favor de las plantaciones

Los argumentos a favor de las plantaciones se basan, en parte, en la disponibilidad de terrenos y en la expectativa de que la madera será escasa en el futuro. Las conclusiones de Marsh (1962) fueron que las plantaciones se necesitan donde: 1) la extensión de bosque natural es insuficiente, 2) los bosques naturales crecen demasiado despacio como para cumplir con la demanda por productos forestales de manera sostenible, 3) los bosques naturales están muy dispersos para permitir su aprovechamiento económico, 4) la madera del bosque natural está ubicada en sitios demasiado remotos como para ser transportada con un costo aceptable. Todos estos problemas se pueden evitar estableciendo plantaciones de especies de crecimiento rápido cerca de las comunidades y de las industrias de procesamiento.

Evans (1992) apoyó a las plantaciones comparando los factores positivos y negativos. Los factores negativos incluyen la destrucción actual y pasada de los bosques nativos, el menor acceso a los bosques restantes y la regeneración natural inadecuada. Los factores positivos son la disponibilidad creciente de terrenos, la alta productividad, el potencial de las plantaciones actuales y los beneficios ambientales.

Una revisión de la situación en Nigeria demostró la relación estrecha entre la disponibilidad de terrenos y las necesidades de reforestación (Lowe 1984). Aunque casi sólo el 10 % del país estaba reservado para bosques y la mayor parte son sabanas de baja densidad, la invasión

de campesinos se podría prevenir con sólo plantar especies exóticas en las zonas amenazadas. Los mejores bosques reservados, de los cuales casi 2000 km² se hallaban bajo el sistema de dosel protector, se convirtieron en plantaciones para aumentar la productividad. Un plan nacional establecido en 1985 era plantar durante un período de 20 años, la mitad de las reservas de bosque alto y un décimo de las reservas de sabana, aunque todavía quedan dudas sobre las técnicas más exitosas.

Wadsworth (1983) analizó los posibles beneficios ambientales de aumentar la extensión de las plantaciones para madera. Para los trópicos en conjunto, calculó la posibilidad de reducir la demanda de madera proveniente de bosques naturales, con el aumento de madera de plantaciones (Cuadro 5-1).

Las inquietudes del público sobre las propuestas de plantación, aún donde la reforestación misma se favorece, deben ser resueltas. Un ejemplo principal es la oposición que engendra el eucalipto. Esta oposición es más evidente en el hemisferio oriental, pero también se ha manifestado a través de la larga historia de plantación de esta especie en Brasil. La complejidad de este asunto es evidente en la variedad de argumentos usados en contra del eucalipto, resumidos por Spears (1987):

- Los eucaliptos, como especies no leguminosas, agota los nutrientes.
- Los eucaliptos ponen en peligro el equilibrio hidrológico.
- Los eucaliptos tienen efectos alelopáticos sobre ciertos cultivos agrícolas.

- Los eucaliptos usurpan los buenos terrenos agrícolas.
- Los eucaliptos requieren menos empleo rural que otros cultivos.

En parte, estas inquietudes reflejan problemas con eucaliptos que se han plantado en un sitio inapropiado; pero en su mayoría constituyen generalizaciones sin fundamento. Naturalmente, es necesario informar al público sobre cualquier efecto empobrecedor que los eucaliptos (o cualquier otra especie) causen, junto con los posibles beneficios en términos de crecimiento rápido, suministro de madera y combustible, valores de forraje, valores de protección, empleo y rendimientos económicos. Poore y Fries (1985) discutieron este tema a fondo.

Ventajas productivas de las plantaciones

La superioridad de las plantaciones sobre los bosques naturales se debe principalmente a su mayor productividad de madera comercial. Las ventajas de las plantaciones son más evidentes donde la regeneración natural es pobre, donde los árboles nativos son de utilidad limitada y donde las diferencias en las tasas del crecimiento arbóreo son pronunciadas.

Otra ventaja de las plantaciones es la necesidad de rehabilitar terrenos deforestados (Baur 1964b). Además, existe una creciente presión para el reemplazo de bosques naturales, los que el público percibe como selvas, que contrastan desfavorablemente con la agricultura, cuya demanda aumenta y produce mayores rendimientos económicos.

El fracaso de la regeneración natural oportuna de especies madereras deseables es común en terrenos

Cuadro 5-1.—Madera proveniente de plantaciones como sustituto de la madera de bosques naturales en el trópico

Abastecimiento cubierto por las plantaciones (%)	Recursos madereros requeridos para cubrir la demanda hasta el año 2000 ^a (million km ²)		Reducción de la tala en bosques naturales ^a (million km ²)
	Disponibles en plantaciones	Bosques naturales requeridos	
12	0.2	6.0	0.6
20	0.4	5.5	0.9
30	0.5	4.8	1.5
50	0.9	3.4	2.5
100	1.7	0.0	5.1

Fuente: Wadsworth 1983.

^aEstimados.

agrícolas abandonado. Además, bajo ciertas circunstancias, la regeneración natural de especies arbóreas ha sido casi imposible de lograr. Un caso es *Araucaria angustifolia*, el pino del sur del Brasil, en cual no regenera bien en forma natural, por lo que las plantaciones de esta y de otras especies de pinos se prefieren a los bosques naturales (Krug 1968).

La regeneración natural, aún donde es adecuada, podría sólo producir leña en vez de madera industrial. A excepción de donde los combustibles son extremadamente escasos, esta expectativa condena a los bosques naturalmente regenerados a producir rendimientos de bajo valor económico. Las plantaciones exitosas, por otra lado, ofrecen una mayor certeza en cuanto a la composición, calidad, rendimiento y fecha de la próxima cosecha.

Es inquietante ver que, en el trópico, los bosques naturales crecen en forma más lenta que las plantaciones. La mayoría de las comparaciones, sin embargo, están predispuestas en su contra. A menudo se comparan árboles de edad e historia desconocida que quedan después de talar un bosque, con los árboles jóvenes, bien espaciados y cuidados de las plantaciones. Además, prevalecen otras desigualdades, tales como la calidad del sitio, el valor de mercado por unidad de volumen y grado de utilización. A pesar de todo, los árboles de las plantaciones generalmente producen una mayor cantidad de madera utilizable que los árboles de los bosques naturales.

El crecimiento de árboles en los bosques nativos del Brasil demostró no poder vencer a los eucaliptos plantados (Navarro de Andrade 1941). En la Isla Mauricio, se demostró que los árboles nativos de bosques montañosos eran de crecimiento lento (King 1945), y en Kenia, la tasa de crecimiento era tan lenta que la regeneración de las especies nativas, usando métodos naturales o artificiales, era antieconómica (Dyson 1965).

Las implicaciones de las distintas tasas de crecimiento entre bosques naturalmente regenerados y plantaciones son espectaculares en términos de rotación de cultivos. Una revisión de la silvicultura en Nigeria (Wyatt-Smith 1968) llevó a la conclusión que el reemplazo de los bosques naturales por plantaciones de especies de los géneros *Khaya*, *Lovoa*, *Tectona*, *Terminalia*, y *Triplochiton* (especies nativas de la región) podría reducir la rotación de 100 a 50 años, para árboles de 60 cm dap.

En Malasia, las plantaciones de árboles gomeros de 81 meses de edad produjeron una fitomasa de 20 toneladas por hectárea por año, convirtiendo entre 2,5 y 2,8 % de la radiación visible (Wycherley 1969). La productividad (sobre y debajo del suelo) de la palmas aceitera en plantaciones varía de 30 a 37 t/ha/año. A mayores elevaciones, las plantaciones de coníferas y eucaliptos, nativos o introducidos, alcanzaron una productividad de 13 a 40 t/ha/año, un nivel de producción imposible para las comunidades forestales naturales que tales cultivos remplazaron (Dawkins 1967). Se considera de carácter dudoso mantener bosques naturales sobre la base de su productividad; el caso es defendible cuando entran en juego otros valores, como la conservación del suelo o del agua (Wycherley 1969).

Otro argumento que defiende a las plantaciones tropicales es su mayor productividad de madera, en comparación con las plantaciones de la zona templada (Machado 1977). El rendimiento promedio de las coníferas es de 5,3 t/ha/año en la zona templada, y de 12,6 t/ha/año en los trópicos. Para las especies latifoliadas, los promedios respectivos son 5,1 t/ha/año y 13,1 t/ha/año.

Un informe de Uganda (Laurie 1962) citó una producción de 0,7 m³/ha/año en bosque natural, mientras que una plantación vecina de *Eucalyptus* produjo más de 40 m³/ha/año. Dawkins (1964b), con base en una revisión de toda la región, llegó a la conclusión de que los bosques húmedos tropicales podrían alcanzar una producción de 4 a 10 t/ha/año de madera fustal, en comparación con 14 a 24 t/ha/año para plantaciones de coníferas y eucaliptos. Los bosques coníferos naturales en los trópicos son raros, pero bajo circunstancias favorables, tales bosques pueden producir volúmenes de 35 m³/ha/año de madera fustal (Wood 1974). Según Jackson (1973), en los bosques de miombo de Nigeria se registraron rendimientos de 1,4 m³/ha/año para los bosques nativos de *Isobertinia*, en comparación con 24 m³/ha/año para plantaciones de seis distintas especies.

La leña producida en plantaciones puede ser una alternativa viable al petróleo. Se presenta, en el Cuadro 5-2, el rendimiento de una plantación de *Eucalyptus* de siete años en África y el petróleo equivalente. La información proviene del Centre Technique Forestier Tropical (Catinot 1984).

Estudios del Consejo Nacional de Investigaciones de los EE.UU (Anón. 1984c) indican que la agroforestería y la

Cuadro 5-2.—Petróleo equivalente al rendimiento de *Eucalyptus* de siete años en África

Precipitación anual promedio (cm)	Rendimiento de madera (m ³ /ha/año)	Petróleo equivalente (t/año)
30–60	3–4	0.7–0.8
60–80	4–8	0.8–1.6
80–100	15–25	3–5
>100	25–80	5–10

Fuente: Catinot 1984.

mejora en la producción y uso del carbón constituyen las expectativas más prometedoras para el aumento de la producción de energía. Con el desarrollo de sistemas prácticos para convertir la lignocelulosa en alcohol, las plantaciones de carbón quizás puedan competir con la agricultura por terrenos arables.

El Cuadro 5-3 (Evans 1992) resume la productividad promedio de las plantaciones de varias especies de árboles tropicales. Un análisis efectuado en 1980 (Brown *et al.* 1986) demostró que las plantaciones constituyen menos del 2% del material orgánico de la vegetación tropical, pero su biomasa por unidad de terreno (123 t/ha) arroja un promedio mayor que el de los bosques tropicales naturales (106 t/ha).

Hay una gran necesidad por descripciones más precisas sobre el desempeño de las plantaciones. Qureshi (1968a) apunta la falta de claridad en cuanto a tamaño y calidad del producto obtenido y al período preciso en que ese producto se obtuvo. Los estudios revisados dan amplios ejemplos de estas deficiencias; algunos presentan datos en metros cúbicos, otros en toneladas, a menudo sin especificar rotaciones o tamaños límites. En un estudio de 502 plantaciones para madera en el neotrópico (Lugo *et al.* 1988), los datos eran adecuados y comparativos para solamente ocho especies de árboles. Algunos datos eran para períodos de crecimiento demasiado cortos y no daban cuenta de los raleos. Además, no se especificaban ni el estado de la corteza ni los límites de uso esperados.

Según Malcolm (1979), las plantaciones aportan un porcentaje mayor de madera utilizable que los bosques naturales. Al comparar los bosques naturales con una

Cuadro 5-3.—Productividad de las plantaciones tropicales

Especies	Rotación (año)	Rendimiento (m ³ /ha/año)
<i>Paraserianthes falcataria</i> (Filipinas)	10	28
<i>Eucalyptus</i>		
Subtropical	8–25	5–30
Tropical	7–20	≤60
<i>Gmelina arborea</i> (Brasil)	10	35
<i>Pinus caribaea</i> (Fidji y Brasil)	8–16	21–40
<i>P. patula</i> (África)	15–16	18–19
<i>Swietenia macrophylla</i> (Fidji)	30	14
<i>Tectona grandis</i>	40–80	4–18

Fuente: Evans 1992.

plantación de 35 años de *Shorea robusta* en la India, Raman (1975) descubrió que el 92 % de la fitomasa sobre el nivel del suelo de la plantación consistía de madera de fuste utilizable, en comparación con sólo el 71 % de la fitomasa del bosque natural.

Consideraciones relativas a la tierra. Ya que los suelos están cada vez más en demanda para otros usos, es común la conversión de bosques naturales de menor productividad en plantaciones. En Kenia una razón principal por el cambio a plantaciones ha sido la necesidad de concentrar la producción en una zona más pequeña, porque los terrenos forestales se estaban perdiendo y convirtiendo a otros usos (Dyson 1965). En vista de la creciente competencia que esos otros usos significan, la transición se efectuó en Nigeria comenzando con métodos naturales, seguidos por el método *taungya* para finalizar en plantaciones intensivas (Lowe 1977).

En Puerto Rico, desde hace tiempo se hizo evidente que, a menos que los rendimientos de madera por unidad de terreno aumentaran tan rápidamente como la productividad agrícola, el uso de los terrenos cambiaría irremediablemente a favor de la agricultura (Wadsworth 1961). Baur (1964b) agregó que, por último, la forestería sería confinada a zonas más pequeñas, por lo que el manejo intensificado era inevitable. Indicó que las maderas de exportación rinden menores ganancias que el cacao y el caucho, y enfatizó la necesidad creciente por mayores plantaciones forestales.

Cuadro 5-4.—Tamaño mínimo de plantación tropical capaz de abastecer a la industria maderera

Operación	Requerimientos anuales de madera (m ³)	Plantación necesaria (ha)	Recursos humanos (Cantidad de empleos)
Aserraderos	15,000	1,000	30
Madera aserrada y contrachapada	100,000	7,000	200
Producción de pulpa	500,000	25,000	2,000

Fuente: Evans 1992.

Los argumentos económicos a favor de las plantaciones se han presentado durante muchos años. Beresford-Pierse (1962) vio la necesidad de cambiar el criterio prevaleciente en el sentido de que se debía manejar una mayor extensión de bosques naturales. Según él, lo difícil que es utilizar bosques inaccesibles o complejos puede hacer que la madera extraída de ellos sea tan cara que su explotación sea poco económica. Vastas regiones serían inapropiadas para el manejo debido a su alto costo. Por ello, se debería depender más de la genética, fertilización, cultivo e integración con la agricultura.

Ovington (1972) enfatizó la necesidad de considerar la ubicación de la plantación, los requisitos de la industria en cuanto a los productos y la economía del manejo. Un factor que complica la situación es la gran extensión de plantaciones que se necesitan para abastecer a la industria. Evans (1992) estimó el tamaño mínimo de plantaciones necesario para abastecer a varias industrias que utilizan madera y el empleo que cada una generaría (Cuadro 5-4).

En la selección de terrenos para plantar se debe considerar la calidad del sitio, pues este afecta el crecimiento potencial del árbol. Los contrastes entre los sitios buenos y mediocres se muestran en el Cuadro 5-5.

La elección entre la regeneración natural y la plantación no siempre es fácil. Cuando existe alguna duda, Synott y Kemp (1976) favorecen la “mayor fortaleza” y seguridad a largo plazo que resulta de mantener los bosques naturales. Sin embargo, estuvieron de acuerdo en que las plantaciones son indicadas donde los terrenos son escasos y se requiere una mayor productividad. Según ellos, la plantación se debe concentrar en terrenos degradados y no forestados (desde luego, siempre que tales sitios no sean submarginales para una producción forestal práctica.

En países con bosques primarios de gran extensión, Wood (1974) consideró tres alternativas para el uso de la tierra: 1) conservar los bosques que se regeneran en forma natural y manejarlos en rotaciones largas, 2) aumentar los rendimientos de los bosques regenerados naturalmente, 3) reemplazar los bosques regenerados por ‘plantaciones compensatorias’. En los países donde no hay bosques extensos, las plantaciones son inevitables. En Ghana, se llegó a la conclusión de que el rendimiento del 1% de la zona forestal original convertido en plantaciones de madera era capaz de suplir el rendimiento del bosque anterior (Foggie 1957).

Cuadro 5-5.—Superioridad del incremento medio anual de las plantaciones tropicales en sitios buenos y mediocres, para distintas especies

Especies	Edad (años)	Superioridad del buen sitio en comparación con el medice (%)
<i>Araucaria angustifolia</i>	30	105
<i>Azadirachta indica</i>	9	234
<i>Cryptomeria japonica</i>	30	117
<i>Cupressus lusitanica</i>	20	47
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	12	72
<i>E. deglupta</i>	12	20
<i>E. globulus</i>	12	118
<i>E. grandis</i>	12	139
<i>E. saligna</i>	12	122
<i>Gmelina arborea</i>	12	40
<i>Pinus caribaea</i>	20	28
<i>P. patula</i>	16	68
<i>Swietenia macrophylla</i>	40	120
<i>Tectona grandis</i>	65	123

Fuente: Evans 1992.

Cuadro 5-6.—Terrenos convertidos en plantaciones de madera en el trópico

Estado previo	Terrenos convertidos en plantaciones (%)			
	América	África	Asia y el Pacífico	A nivel mundial
Pastizales y sabanas	52	67	40	52
Charrales	25	6	11	16
Bosque pluvial	4	18	34	15
Terreno desocupado o deforestado	18	3	8	12
Plantaciones de madera	1	5	6	3
Otro	0	1	1	2
Total	100	100	100	100

Fuente: Evans 1992.

Leslie (1967) indica que si en la decisión entre plantaciones o regeneración natural se incluyera un análisis del costo/beneficio de valores relativos a las cuencas, recreación, vida silvestre y flora, la decisión podría favorecer a los bosques naturales. Estos valores rara vez se incluyen en tales decisiones.

Las limitaciones de las capacidades del suelo son un argumento convincente para la reforestación de terrenos deforestados en gran parte de los trópicos, ya sea para madera u otros cultivos arbóreos. Goodland (1986) considera que el desarrollo más sostenible de la Amazonia brasileña se basa en los bosques, para la que propone una mezcla de cultivos perennes y de subsistencia con cultivos anuales. La extracción de la madera más valiosa efectuada al mismo tiempo que prácticas silvícolas proporcionarían el capital de desarrollo. Otros cultivos arbóreos recomendados por Goodland fueron el caucho, la palma aceitera, el cacao, la nuez del Brasil, el coco, el café y el babasú.

A través del trópico, la mayoría de las plantaciones se han establecido en las praderas y sabanas (Cuadro 5-6). El chaparral es el segundo tipo de terreno usado para plantaciones en el neotrópico, pero en África y Asia, se usa el bosque pluvial.

Abastecimiento de madera

Aún donde los terrenos posibles para la reforestación son abundantes, quizás sea necesario intensificar el manejo debido las limitaciones en el acceso y calidad deficiente de la madera proveniente de bosques nativos. La preocupación causada por el abastecimiento cada vez menor llevó a que se emprendieran los primeros esfuerzos para establecer plantaciones de teca en

Malabar en 1830 (Laurie 1937). En Tailandia, las plantaciones para leña se establecieron una vez que los precios de la leña habían aumentado veinte veces (Thirawat 1952). En Uganda, las dudas sobre lo apropiado que eran los bosques regenerados en forma natural, resultó en el establecimiento de plantaciones madereras en las praderas (Anón. 1957e).

En 1959, la única esperanza para sustituir el estiércol como combustible en la India era alcanzar una producción de 3,4 millones de metros cúbicos de leña por año (Ishaq 1959). Para 1975, la demanda por madera y por tierras no dejó más alternativa que aumentar la producción de las zonas forestales existentes (Singh y Randev 1975). La demanda por leña exigía un crecimiento rápido y la necesidad de madera de construcción exigía el establecimiento de plantaciones, debido a la densidad excesiva y problemas de secado de las maderas de bosques nativos (Sahni 1965).

En 1973, en Nigeria se llegó a la conclusión de que se debían plantar 12 000 ha anualmente para abastecer la demanda nacional de madera (Oseni 1973). La escasez de leña fue más severa en las sabanas donde la productividad de los terrenos boscosos era baja (Jackson 1973).

La escasez de madera también impulsó la plantación en América tropical. En Trinidad, donde no habían especies locales sobresalientes, se convirtieron terrenos en plantaciones. Lo mismo hicieron países con terrenos en las laderas altas de los Andes (Laurie 1962). A pesar que quedaban bosques nativos extensos en Surinam, para 1966 se establecían plantaciones a gran escala, porque

Cuadro 5-7.—Productos finales de las plantaciones forestales tropicales y porcentaje de terreno forestal dedicado a la producción de cada uno

Uso final primario	Área forestal (%)	
	A nivel mundial	En América
Madera industrial	54	50
Leña	18	29
Protección	17	10
Productos menores, agroforestería, otros	11	11
Total	100	100

Fuente: Evans 1992.

la regeneración natural era deficiente (Schulz y Rodríguez 1966). La necesidad de plantar era evidente en el déficit de madera accesible anticipado para el año 1985. No se esperaba satisfacer esta necesidad con el mero hecho de reducir residuos y de usar una mayor cantidad de especies de los bosques nativos (Dickinson 1967). En Brasil, donde la mayoría de la madera se vende a los fabricantes, se usaron incentivos para hacer que se establecieran plantaciones (Dickinson 1967). En Perú, donde el consumo de madera era por lo general rural y local, las plantaciones se establecieron sin incentivos, aunque el cultivo tomó diez años en madurar.

Las plantaciones lograron resolver problemas en algunas zonas. En Fidji, en 1984, 38 000 ha de plantaciones producían mayores ganancias que el turismo, la caña de azúcar o la copra (Rennie 1974). En Brasil, un tercio de la madera para uso industrial proviene de plantaciones. Ya en 1965, las plantaciones tropicales existentes tenían el potencial de sustituir la mitad de la madera rolliza para uso industrial proveniente de bosques naturales. Con la tasa de establecimiento de plantaciones en ese momento, se pensó que para el año 2000 se podría cumplir con la demanda de celulosa (Anón. 1965e).

La teca en Trinidad, introducida en 1913, ahora cubre más de 5000 ha. Estas plantaciones fomentaron la creación en 1978 de la Compañía de Productos Forestales de Trinidad y Tobago, Ltda, la que se espera ha de producir un rendimiento anual sostenible de 18 000 a 24 000 m³ de postes de teca y 34 000 a 57 000 m³ de madera de aserrío (Anón. 1982c).

Lanly (1982), en su inventario mundial de los bosques tropicales, distingue dos tipos de plantaciones forestales, dependiendo de los objetivos:

- Plantaciones industriales, establecidas total o parcialmente para la producción de madera usada principalmente para elaborar postes para minas, pero también como madera rolliza, enchapados y pulpa.
- Otras plantaciones establecidas para producir leña o carbón (posiblemente para uso industrial), madera para consumo nacional (particularmente rural), fruta, palmitos, goma arábica canela, etc.; y para proteger los suelos.

Casi la mitad de las plantaciones forestales en los trópicos se dedican a la producción de madera industrial (Cuadro 5-7). La madera para leña es el siguiente producto, abarcando el 18 % de las plantaciones tropicales mundiales y el 29 % en América.

Según Wood (1976), la capacidad aparente de los bosques altos y estables de satisfacer las necesidades humanas a perpetuidad no es factible desde el punto de vista comercial, aún usando una mano de obra pagada a los precios más bajos. El alto costo de la cosecha de madera, ya sea manual o mecanizada, exige que se tale la mayor cantidad de árboles que sea posible en cada cosecha. Esta operación perturba tanto al ecosistema, que la tasa de regeneración resultante no es capaz de sostener al bosque, particularmente después de una corta de selección de los mejores árboles. Sólo con la plantación es posible mantener o mejorar la calidad genética de los árboles originales. Donde los terrenos boscosos son escasos, la producción de madera no es de por sí un argumento suficientemente fuerte como para ayudar a mantener los bosques tropicales naturales (Wood 1976). También se deberían beneficiar el suelo, el agua, los estudios científicos, la conservación genética o los productos de los bosques secundarios.

En Malasia, la retención de bosques mixtos resulta principalmente en la producción de celulosa; las plantaciones de crecimiento rápido podrían suministrar este producto mucho más económicamente (Tang y Wadley 1976a, 1976b).

Al efectuar un cambio a favor de las plantaciones se deben tomar algunas precauciones. Tal cambio exige un buen desempeño y calidad de especies arbóreas lejos de sus sitios nativos. Zobel (1978) advierte que es un error pensar que porque la madera de las especies nativas es buena, también lo será si crece en un hábitat distinto.

Indica que los tratamientos silvícolas que se efectúan para aumentar las tasas de crecimiento afectan a la madera. Un crecimiento rápido inicial significa madera juvenil en la madurez. La distorsión de los pinos en los trópicos no sólo se da en plantaciones, pero puede resultar en “madera de compresión” (madera comprimida más allá de su límite de elasticidad).

Según Hughes (1968a), las plantaciones de *Pinus caribaea* a menudo tienen madera tardía de pobre desarrollo, que podría ser de densidad mucho más baja que la madera de crecimiento natural. Esto reduce su valor para la construcción pesada, pero aumenta su valor para obras de carpintería. La infiltración de resina en el duramen y la ocurrencia de madera de compresión son serios defectos que sufren los árboles de crecimiento rápido. También puede aparecer grano en espiral. Las mayores diferencias entre la madera de una plantación y la madera que ha crecido en forma natural parecen relacionarse con condiciones de sitio y clima (Hughes 1968a).

Los estudios de la madera de teca de plantaciones y de bosque natural no muestran ninguna diferencia significativa en cuanto a su resistencia a las termitas subterráneas (Da Costa *et al.* 1958). La resistencia aumenta con la edad del árbol y el contenido extractivos de la madera. Pruebas aplicadas a teca de una plantación de crecimiento rápido de 51 años de edad (1 a 3 anillos por centímetro) demostró que era 15 % más débil y de 15 a 25 % más blanda, pero que su resistencia a la tracción era 12 % mayor que teca de Birmania de crecimiento más lento (Wood 1968).

A pesar de las inquietudes legítimas al respecto, las plantaciones de maderas tropicales muy valiosas (tales como *Cedrela*, *Maesopsis*, *Tectona*, *Terminalia* y *Triplochiton*) prometen rendimientos mayores que casi todos los demás usos en los países donde crecen (Spears 1980). Además, los requisitos futuros de madera de una larga y creciente lista de países tropicales, ya no se pueden cumplir mediante otras fuentes de recursos nacionales, aparte de las plantaciones.

El término, muy en uso, de ‘plantaciones compensatorias’ se refiere a plantaciones establecidas para producir al menos tanta madera como los bosques naturales, a los que han reemplazado (Dawkins 1958g). La compensación generalmente requiere que se plante una zona mucho más pequeña que la abarcada por el bosque reemplazado.

Aún cuando las plantaciones están justificadas, eso no significa que es mejor mantener improductivos a los bosques de regeneración natural. Si es así, se tornan vulnerables a la destrucción, cuando todavía podrían producir cultivos forestales para complementar la producción de las plantaciones, a la vez que ofrecen otros valores.

En un estudio de las necesidades energéticas de la biomasa en países en desarrollo, el Consejo Nacional de Investigación de los EE.UU. (Anón. 1984c) llegó a la conclusión que cuando el precio del petróleo sobrepasa el costo de la energía producida por la biomasa, la producción de energía en los bosques tropicales deberá atraer a los que dependen del petróleo como fuente de energía. Estas condiciones ya existen en muchos países en desarrollo donde el aumento de la producción de biomasa es esencial, tanto para cumplir con las necesidades energéticas como para hacer frente a la deforestación. La agroforestería y la producción de carbón se consideran tecnologías prometedoras. La competencia actual por terrenos arables impide la producción de madera combustible a gran escala en muchas zonas. Esto se consideró un problema menor con la aparición de técnicas para convertir la celulosa en alcohol. Se espera que la reforestación para producir madera como combustible y carbón, si se la maneja debidamente, ha de generar una tasa de rendimiento muy atractiva, sin la necesidad de un subsidio perpetuo.

Consideraciones de sitio

La mayoría de las plantaciones son más beneficiosas ecológicamente que las zonas no forestadas. Los efectos ecológicos de las plantaciones son similares a los de los bosques naturales. Una comparación del ciclo mineral en Costa de Marfil, entre un bosque natural y una plantación de 38 años de *Terminalia ivorensis*, demostró que la caída de hojas y la percolación del suelo eran similares (Bernhard-Reversat 1976). La acumulación de materia orgánica y nitrógeno (N) en la tierra vegetal era en realidad mayor en la plantación, pero las reservas de los cationes intercambiables en el suelo eran menores, particularmente en suelos arenosos. La influencia de las plantaciones en la distribución de la precipitación puede ser beneficiosa; por ejemplo, en una prueba de 93 semanas en Brasil, una plantación de 13 años de *Pinus caribaea* y de *P. oocarpa* interceptó sólo el 12 % de la precipitación, lo que contrasta con el 28% en un cerrado cercano (Lima y Nicolielo 1983).

Inquietud sobre los efectos de las plantaciones en los sitios ha dado raíz a muchos estudios a través del mundo tropical. En plantaciones de *P. caribaea* en Trinidad las reservas totales de N decrecieron durante cinco años pero se recuperaron al doceavo año (Cornforth 1970b). Las reservas de fósforo (P) disminuyeron un poco después de una quema preparatoria y aunque la disponibilidad de P en el suelo aumentó durante el séptimo año, para el doceavo año no había alcanzado su nivel original. Las reservas de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) liberadas por la quema se perdieron rápidamente debido a la erosión y la lixiviación. Las características de la capa superficial de 7,5 cm en una plantación de 25 años de neem (*Azadirachta indica*) en el noroeste de Nigeria en comparación con los terrenos sin forestar se resumen en el Cuadro 5-8.

En las plantaciones de *P. radiata* en Australia subtropical, el N en el suelo aumentó a 50 kg/ha, aún si no había especies con nódulos en el estrato inferior (Richards 1964). La precipitación contribuyó con 10 kg/ha/año, mientras que las bacterias fijadoras de N contribuyeron casi la misma cantidad. Los pinos absorbieron rápidamente el N del suelo.

En la zona templada, el cambio de latifoliadas a coníferas ha aumentado la disponibilidad de N en el sitio, hasta sobrepasar los requerimientos de los pinos (Stone y Fisher 1969). Este efecto, que se extiende más allá de la zona cubierta por las copas de los árboles, se atribuye a la mineralización y no a la fijación. El incremento en la fijación del N también se ha asociado con el crecimiento de los pinos (Wollum y Davey 1975).

Chijioke (1980) efectuó un estudio intensivo de los efectos de la plantación sobre el suelo en Belice, Brasil y Surinam, además del África occidental. Concluyó que las plantaciones forestales de rápido crecimiento en los trópicos húmedos de tierras bajas y la cosecha de troncos con corteza, extraían del 70 al 80% de los nutrientes inmovilizados por el árbol. Las exportaciones de *Gmelina* dan cuenta de un mayor contenido de nutrientes con rotaciones de 5 a 6 años que con rotaciones de 13 a 15 años. Si se dejan los residuos en el sitio, en vez de extraer el árbol entero, las pérdidas de nutrientes se pueden reducir en un 25%, y si se deja la corteza también, el ahorro aumenta en 5-10% adicional. Chijioke descubrió que la cantidad total de N era más que adecuada a pesar de las grandes cantidades inmovilizadas por *Gmelina* y los pinos.

Cuadro 5-8.—Características del suelo bajo plantaciones de neem (*Azadirachta indica*) en comparación con terrenos no forestados en el noroeste de Nigeria

Parámetros del suelo	No forestado	Plantación
pH	5.4	6.8
Carbono (%)	.120	.57
Nitrógeno total (%)	.013	.047
Razón carbono a nitrógeno	9.4	12
Fósforo total (ppm)	201	131
Potasio (meq/100g)	.08	.23
Calcio + magnesio + (meq/100g)	.29	2.15
Total cationes (meq/100 mg)	.39	2.4
Saturación de bases (%)	20	98
Capacidad de intercambio catiónico	1.7	2.4

Fuente: Radwanski 1969.

Nota: Valores medios encontrados a una profundidad de 0-7, 5cm.

El efecto beneficioso de las plantaciones sobre el régimen del agua es pronunciado. Su influencia sobre la distribución de la precipitación ha sido documentado en plantaciones de *P. roxburghii* y *Tectona grandis* en la India (Cuadro 5-9). La gran cantidad de lluvias ligeras interceptadas es impresionante. Sin embargo, en la región subtropical de Jodhpur, India, el agotamiento del suelo hasta una profundidad de 10 cm, 39 días después de una lluvia, era del 76% bajo *Eucalyptus* de tres años y del 92% bajo *Acacia* de 11 años, en comparación con el 86% de un pastizal. A una profundidad de 60 a 90 cm, los porcentajes correspondientes fueron 36, 7 y 7% (Gupta *et al.* 1975).

La alta productividad aparente de las plantaciones de *Eucalyptus* y *Pinus* sugiere que dependen significativamente del agua presente en el suelo. Sin embargo, un estudio efectuado en Brasil indica que no consumen más agua que la vegetación herbácea (Lima-Freire 1976). La evapotranspiración de mayo a setiembre fue de 20,6 cm en una plantación de cinco años de *E. citriodora*, 21,2 cm en una plantación de cinco años de *P. caribaea caribaea*, y 19,6 cm en vegetación herbácea. Poore y Fries (1985) llegaron a conclusiones opuestas, que indican que los eucaliptos disminuyen el

rendimiento del agua más que los pastos, la vegetación herbácea y las especies latifoliadas, pero menos que los pinos. Los eucaliptos reducen el escurrimiento del agua si se los ralea lo suficiente como para conservar la vegetación del suelo y se protegen contra incendios.

En Kenia, plantaciones de árboles de madera blanda manejadas en rotaciones de 20 años o menos, sujetas a aprovechamientos anuales consumieron menos agua, durante un período de diez años, que un bosque natural en un sitio comparable (Pereira 1967). Sin embargo, las plantaciones usaron casi un 10% más de agua que los pastos de pastizales perennes.

A pesar de que las plantaciones son mucho menos diversas ecológicamente que los bosques naturales, en Nueva Gales del Sur, Australia (latitud 34°S.), las plantaciones de *P. radiata* de 40 años de edad, tenían tantas o más aves que dos tipos de bosques nativos, pero sólo dos tercios de las especies.

Una plantación madura de *Araucaria cunninghamii* en Australia arrojó resultados similares a los de un bosque pluvial, en cuanto a los incrementos anuales de minerales en el suelo (Brassell *et al.* 1980). Los mismos resultados se encontraron en suelos fértiles e infértiles en sitios húmedos y secos, lo que sugiere que si algún sitio de la plantación empezara a deteriorarse, eso no se debería a una reducción en el reciclaje de minerales durante las últimas etapas de la rotación.

La posibilidad de que los rendimientos se reduzcan como consecuencia del deterioro del sitio bajo manejo intensivo para la producción de árboles en rotaciones cortas ha causado gran inquietud a los forestales durante muchas décadas (Lamb 1969a). El uso de especies exigentes de luz en suelos arenosos se consideraba

particularmente arriesgado. Es evidente la necesidad de monitorear en forma continua y de aprender de la respuesta de la plantación para mantener los niveles de productividad durante rotaciones sucesivas (Evans 1976).

Han surgido muchas controversias en Australia sobre los distintos efectos de las plantaciones sobre los sitios, en comparación con los efectos de los bosques nativos. Las evidencias todavía no apoyan totalmente a los bosques naturales (Anón. 1971-72). La declinación de las plantaciones de *P. radiata* en la segunda o tercera rotación en el sur de Australia todavía no es convincente (Boardman 1978). En efecto, existen evidencias abrumadoras de que la productividad lograda al cerrar el dosel tiende a mantenerse. Las prácticas silvícolas y el clima parecen tener una gran influencia.

Los estudios de las plantaciones más viejas de teca en Nilambur, India han demostrado que, para la segunda rotación, no ha habido disminución del crecimiento en altura (Venkataramany 1960b).

Un estudio a fondo de la segunda rotación de *P. patula* en Suazilandia sugiere que la calidad del sitio no ha disminuido de manera significativa (Evans 1972). El crecimiento de la altura en la segunda rotación fue del 90 al 95% del medido en la primera rotación, en 64 pares de parcelas. Sin embargo, Evans afirma que no hay evidencia que pruebe que el crecimiento de los cultivos forestales sucesivos tiende a declinar gradualmente. En la zona de la prueba, la precipitación fue levemente menor durante los primeros años de la segunda rotación. Se indicaron pérdidas del 10% de la fibra debido, posiblemente, a una madera de duramen menos densa. De los muchos factores de sitio examinados, sin embargo, ninguno se logró identificar como la causa específica de los cambios observados en el crecimiento.

Cuadro 5-9.—Disposición de la precipitación por plantaciones de *Pinus roxburghii* y *Tectona grandis* en la India

Disposición de la precipitación	Cantidad de precipitación por tormenta (%)			
	1.35–2.5 cm		>5 cm	
	<i>T. grandis</i>	<i>P. roxburghii</i>	<i>T. grandis</i>	<i>P. roxburghii</i>
Interceptación	37	29	4	4
Flujo ramificado	7	3	9	5
Flujo directo	56	68	87	91
Total	100	100	100	100

Fuente: Dabral y Subba Rao 1968.

El N del suelo disminuyó en plantaciones de *P. radiata* de segunda generación en Nueva Zelanda (Stone y Will 1965). Una teoría es que las raíces de los pinos quizás pueden descomponer una fracción de la materia orgánica del suelo inaccesible o resistente a la flora anterior. Esta capacidad sería una ventaja para el primer cultivo, pero no para las generaciones sucesivas de pinos.

En regiones sujetas a huracanes, las plantaciones pueden sufrir mayores daños que los bosques naturales (Brouard 1960). Las plantaciones de *P. caribaea* en Jamaica sufrieron serios daños durante los huracanes de 1980 y 1988, mientras que los bosques naturales montanos fueron menos afectados (Tanner y Kapos 1991). Las consecuencias ecológicas y económicas de las tormentas difieren muchísimo. Una plantación de pinos, aún si fuera seriamente afectada, representa menos años de manejo y una productividad aprovechable antes del huracán, que podría ser cosechada rápidamente para postes y celulosa. En bosques mixtos, los efectos pueden parecer menos severos superficialmente, pero la caída de árboles de rotación más larga, de valor más alto por unidad de volumen que el de los pinos, puede generar grandes pérdidas, pues se trata de tamaños intermedios con una menor cantidad de duramen y quedan esparcidos por el bosque, por lo que es poco práctico cosecharlos.

Los bosques naturales, según Peace (1957), no necesariamente tienen menos patógenos que las plantaciones; cada desvío de la naturaleza no tiene por qué fomentar enfermedades. Los sitios y los patógenos juegan distintos papeles en la incidencia de las enfermedades. Los forestales no deben pensar que lo que "no es natural" es equivalente a "enfermizo". Peace concluyó que el único factor de importancia en un cultivo exitoso de árboles es la eliminación de competidores, algo que rara vez ocurre en el ambiente natural.

En resumen, aunque muchas evidencias prueban que los sitios forestales tropicales se deterioran después de la deforestación, hay pocas que prueben que los sitios se deterioran más con cada cultivo sucesivo de madera. Las investigaciones indican que un deterioro tal no ha ocurrido todavía a nivel significativo (Bednall 1968; Evans 1972; Laurie 1934, 1941b). Sin embargo, el drenaje de nutrientes implícito en la cosecha repetitiva, particularmente de cortas rotaciones, quizás sea suficiente como para causar un deterioro de ese tipo,

al no cumplirse con la tasa natural de reaprovisionamiento.

Planificación de la plantación

Ladrach (Anón. 1985f) usó su experiencia en Colombia para formular directrices para el establecimiento de plantaciones forestales de carácter industrial y sugiere que los siguientes asuntos se deben considerar en una planificación preliminar:

Relaciones con la comunidad	Suministros de semillas
Régimen de propiedad y adquisición	Establecimiento de viveros
Trazado de mapas	Preparación del sitio
Protección de los bosques naturales existentes	Fertilización
Mantenimiento de linderos	Espaciamiento y densidad del rodal
Diseño de caminos de acceso y cortafuego	Procedimientos de plantación
Selección de especies	Control de incendios
Duración de la rotación	Control de plagas
Estimación de los rendimientos	Mantenimiento de registros
	Capacitación del personal
	Desarrollo de contratos

Enumera los principales riesgos de una plantación industrial tales como vida silvestre, plagas, selección errónea de especies, suministro inadecuado de semillas, problemas de vivero y de plantado, calidad pobre de la madera y personal insuficientemente capacitado. Concluyó que la mayoría de estos riesgos se pueden reducir con una planificación, organización e investigación adecuadas.

Según Lewis (1968), a pesar que la regeneración natural quizás continúe donde es más difícil establecer plantaciones, como en las montañas, cada vez habrá mayores zonas dedicadas a las plantaciones madereras en los trópicos, debido a que la regeneración natural es incierta en cuanto al tiempo, costo y control. Variedades genéticamente mejoradas no deben malgastarse en sitios

pobres y el reemplazo de especies de crecimiento lento por especies de crecimiento rápido habrá de continuar, aún si las nuevas especies no están tan bien adaptadas y necesitan fertilizante. Las investigaciones deberán demostrar hasta qué punto este proceso se puede permitir sin riesgo. Un asunto todavía sin resolver es cómo estabilizar la producción después del primer cultivo.

Plantación intercalada. La plantación forestal generalmente significa el establecimiento de cultivos arbóreos en terrenos deforestados, pero en los trópicos también se efectúa dentro de los bosques existentes. Ese método de plantación busca crear un ambiente similar al que los árboles jóvenes encuentran en el ecosistema forestal natural. Se cree que el bosque residual, después de talas parciales, protege a los árboles recién plantados. Este tipo de plantaciones puede ser menos costoso, en parte, porque el bosque residual podría garantizar una segunda cosecha.

Los árboles se plantan en bosques existentes con fines de enriquecimiento o para llenar un claro (plantar en aperturas naturales sin regeneración), o como plantación bajo dosel, que consiste en plantar árboles jóvenes, o sembrar semillas a espaciamientos regulares bajo todo o casi todo un bosque existente (Ford-Robertson 1971).

En Nigeria, el enriquecimiento comenzó en 1927 (Wholey 1955) para mantener un ambiente forestal estable y evitar el costo del aclarado. Brasnett (1949) concluyó que la práctica es apropiada donde la regeneración natural de especies deseables es deficiente y no se puede inducir por métodos silvícolas conocidos. También se considera apropiada donde hay tan pocos árboles comerciales por unidad de terreno, que la liberación gradual de la regeneración diseminada requiere una supervisión más capacitada de lo que se justifica. Sugirió que la plantación se debe hacer sistemáticamente, en forma lineal, para facilitar la reubicación del árbol. Debido a que en el momento de plantar se puede proporcionar una iluminación solar adecuada, es conveniente emplear especies exigentes de luz. También recomendó el uso de plantones de 2 a 3 años de edad, que han sobrevivido en vivero las primeras etapas del desarrollo.

En Papúa-Nueva Guinea, se han desarrollado distintas intensidades de enriquecimientos (White 1976b). La práctica menos intensiva, llamada "enriquecimiento oportunista", involucra el plantado en claros de



Fig. 5-1. — *Plantación en claros, o enriquecimiento del bosque, con pinos en las laderas de Jamaica.*

extracción, donde no se necesitan mayores cortas. Donde la práctica es más intensiva, se plantan todos los claros y en el rodal circundante se ralean las buenas especies del estrato superior que tengan un dap de 45 a 60 cm, preservando un espacio de 60 x 60 m, aproximadamente como futura cosecha y proveedor de semillas.

Plantación en claros. La plantación en claros ha sido la forma de enriquecimiento más común. Los claros se dan donde varios árboles que crecen juntos han sido talados, en patios de acopio o donde la quema de carbón ha destruido toda la regeneración natural (Fig. 5-1). Las plantaciones en claros se ensayaron como una manera barata de complementar la cosecha siguiente. Uno de los argumentos a favor de la práctica es que "ninguna otra cosa ha de crecer y se debe cultivar el bosque o perder el terreno a favor de otros usos" (Laurie 1934). Los claros generalmente son mayores de 300 m². Algunas veces se quema el sotobosque. Los árboles de teca se plantan a espaciamientos de 1,8 x 1,8 m, en el centro del claro.

En Uganda (Earl 1968), los sitios para producción de carbón se plantaron a razón de 100 árboles por hectárea, a 20 m o más del borde de la copa adolescente más cercana. El plantado se efectuaba apenas terminaban los carboneros para minimizar la necesidad de cortar malezas. Se plantaron dos árboles por hueco; uno de los cuales se eliminaba 1 o 2 años

después. Las especies usadas fueron: *Burtdavyia nyassica*, *Cedrela odorata*, *Maesopsis eminii*, *Nauclea diderrichii*, *Terminalia ivorensis* y *T. superba*.

Las experiencias en la India y en África occidental con el plantado de claros condujo a su rápida desaparición. En la India, se ensayó en varias provincias desde principios de 1934 (Laurie 1941b). Sin embargo, era difícil efectuar prácticas de cultivo en los claros debido a la distribución diseminada de los árboles (Griffith 1941b). Y, aunque a los dos años ya no necesitaban más cuidados, los árboles eran de mala calidad, y el cultivo en general era pobre. Para 1941, las plantaciones en claros se habían abandonado en la India (Laurie 1941b).

En África occidental, la plantación en claros se ensayó después que la plantación cerrada bajo dosel había fracasado por falta de iluminación (Wholey 1955). La plantación en claros produjo zonas de regeneración pobre entre los claros. Excepto en los claros grandes, la replantación era difícil, y caros los aclareos sucesivos (Catinot 1969b, Foggie 1957, Laurie 1934a). En resumen, la plantación en claros se consideró inadecuada porque producen menos que las plantaciones concentradas en suelos mejores.

La plantación en claros se ensayó en bosques de dipterocarpáceas en Filipinas para impedir la invasión de campesinos migratorios después de un aprovechamiento. Allí, se han usado *Paraserianthes falcataria* y *E. deglupta* para repoblar con éxito los patios de acopio, rutas de cables y aéreas y otras zonas de poca densidad (Tagudar 1979). Estos eran cultivos temporales de madera para pulpa que se reemplazarían en forma natural por dipterocarpáceas. A los cuatro años y medio, una zona plantada tenía un estrato inferior de 2900 plantones de dipterocarpáceas por hectárea. El uso de dipterocarpáceas de regeneración natural se ha recomendado como buena técnica de cultivo en Sabah (Fox 1971).

El uso de plantaciones de enriquecimiento ha sido de utilidad limitada en los bosques tropicales, y en general, han sido abandonadas (Stern y Roche 1974). Sólo en los bosques de dipterocarpáceas de la península de Malasia, las plántulas y brinzales naturales crecieron lo suficientemente rápido como para complementar la futura cosecha. Pruebas con especies de crecimiento más lento y con la eliminación gradual de la sombra superior condujeron a una búsqueda repetida para ubicar las plántulas y a una eliminación constante de las

malezas, que significó hasta 10 días de trabajo por hectárea por tratamiento (Dawkins 1956, Mooney 1963).

Una encuesta internacional llevó a la conclusión que el fracaso de las plantaciones de enriquecimiento se debía al aclareo tardío o inadecuado, o a la elección erróneas de especies para el sitio (Fontaine 1976). El enriquecimiento dejó de usarse en África occidental desde 1970 (Wood 1970).

Plantación bajo dosel. Este método se distingue del enriquecimiento en que no se limita a llenar los claros del dosel, sino que también busca reemplazar al bosque entero, plantando un nuevo cultivo por debajo. También se conoce como “plantación en hileras”, pero el término crea confusión pues esa técnica también se usa en plantaciones de regeneración. El propósito de la plantación bajo dosel es asegurar una densidad total, control de especies, uniformidad del cultivo, rotaciones cortas y rendimientos competitivos con los de otros usos del suelo (Britwum 1976). Con este método se plantan árboles en corredores estrechos y paralelos, cortados a lo largo del bosque a espaciamientos que conducen a una densidad total, a medida que los árboles alcanzan la madurez. Es una práctica de intensidad intermedia entre la regeneración natural y la reforestación, y es más apropiada para países con grandes extensiones de bosques secundarios (Wood 1976). Requiere una menor cantidad de árboles, protege la regeneración natural presente, y generalmente cuesta menos que una plantación completa. Además, podría aumentar los rendimientos de los bosques secundarios que de otro modo no producirían más de 1 o 2 m³/ha/año (Earl 1975).

Esta técnica se comenzó a usar en la India y en las zonas del África de habla francesa a principios de la década de 1930 (Catinot 1969a, 1969b; Laurie 1934a). En 1965, las plantaciones bajo dosel abarcaban 30 000 ha en Gabón y Costa de Marfil. También se efectuaron extensas plantaciones en el antiguo Zaire y, en menor escala en Brasil, Costa Rica, Ghana, Malasia, México, Nigeria, Puerto Rico, Surinam, Uganda, y Venezuela.

La plantación bajo dosel con *Terminalia superba* en África ecuatorial en 1938 se describió como exitosa (Aubreville 1953). Allí se plantó una menor cantidad de árboles por unidad de área (con un espaciamiento de 12 m x 12 m), y un gran porcentaje tuvo buen desarrollo. Se indicó la necesidad de ensayos similares en Camerún y Costa de Marfil, donde se debía comprobar el

desempeño de 23 especies de árboles (Aubreville 1947). Se predijeron buenos resultados para *Swietenia macrophylla* en África de habla francesa (Aubreville 1953). *T. superba* también se usó en plantaciones bajo dosel en el antiguo Zaire (Wagemans 1958b); el espaciamiento fue de 4 m x 12 m, u 8 m x 12 m; el material de plantación fueron brinzales de 2 a 3 m de altura sin hojas; a los ocho años el dap promedio era 17 cm.

En 1961, en Gabón se ensayaba con *Aucoumea* para plantación bajo dosel (Biraud y Catinot 1961). Se establecieron 130 ha con *Aucoumea*, *Azfelia*, *Cedrela*, *Swietenia macrophylla* y *Terminalia* spp. en lo que hoy es Madagascar (Bertrand 1961). En 1962, esta era la principal técnica de plantación en Costa de Marfil (Mensbruge 1962), donde se habían plantado 3,6 millones de árboles, principalmente de *Tarrietia utilis* y varias Meliaceae. Una plantación bajo dosel compuesta de *Senna siamea*, *G. arborea* y otras especies abarcaba una extensión de 4300 ha (Mensbruge 1961).

En 1965, una gran variedad de espaciamientos y técnicas de plantación se estaban usando en los bosques húmedos del África francófona (Catinot 1965). Los espaciamientos variaban de 4 m a 6 m dentro de la franja y de 4 m a 25 m entre franjas. Típicamente las franjas eran de 3 m de ancho y tenían a una separación de 10 a 30 m (Catinot 1969a). La técnica se describió como fácil, barata y protectora del ecosistema (Catinot 1974).

En el África occidental, la apertura de corredores espaciados regularmente para plantar un cultivo de árboles requería 75 días de trabajo por hectárea (Wholey 1955). Una vez que se vio que las especies exigentes de luz, tales como *Aucoumea*, *Terminalia* y *Triplochiton*, necesitaban una luz total desde el principio, se prestó menos atención a mantener el bosque natural. La sombra lateral también ha perdido importancia desde largo tiempo.

En Nigeria, fallaron las pruebas con especies exigentes de luz, como *Terminalia superba*. Un error común fue abrir corredores demasiado estrechos; idealmente deben ser de 4 m de ancho. También se vio la necesidad de eliminar el dosel inferior y el estrato superior que se proyecta por encima del corredor, en ambos lados de los corredores. Algunos fracasos iniciales se debieron al uso de material de tamaño muy pequeño; como mínimo, las

plantas deben tener 1,5 m de altura. Entre los géneros aceptables se incluyen: *Chlorophora*, *Khaya*, *Lovoa*, *Swietenia*, *Terminalia*, *Tarrietia* y *Triplochiton*.

También en Nigeria se encontró mayor sobrevivencia y crecimiento en altura de plantones de 1 m de altura que rebrotes de tocón porque recibieron mayor iluminación. Los corredores se abrieron de este a oeste para proporcionar una mayor iluminación solar directa, tanto en la mañana como en la tarde. La apertura de corredores estrechos y el no eliminar los árboles del estrato superior aumentó la mortalidad y disminuyó la tasa de crecimiento. Fue necesario, entonces, envenenar los árboles que sobresalían en más de 5 m a ambos lados del corredor.

La mayoría de las plantaciones bajo dosel se establecieron en Nigeria entre 1930 y 1962 (Oseni y Abayomi 1970). Luego se cambió a plantaciones completas porque los árboles plantados bajo dosel requerían mayor protección de lo justificable contra los animales y las malezas.

Después del fracaso con el sistema de dosel protector en Ghana, se empezó a favorecer la plantación bajo dosel, aún cuando requería mayor protección contra el pastoreo, mejor preparación del suelo y especies de crecimiento rápido (Danso 1966). En 1968, el método se había generalizado; los árboles se plantaban a 5 m de distancia, en líneas espaciadas de 20 m (Osafó 1968b). El trabajo del primer año incluía la demarcación, apertura del corredor, apertura del dosel, desmalezado y plantación. La limpieza de la línea, replantación y mayor apertura del dosel se hacían en el segundo año. Nuevas operaciones de limpieza y aclareo se realizaban durante los siguientes tres años. Las rotaciones para este tipo de plantaciones se calcularon en casi 100 años. Las mejores especies fueron las meliáceas africanas y *Tarrietia utilis*; esta última necesita luz solar plena desde el principio. Sin embargo, la falta de mantenimiento a los caminos de extracción hizo que las plantaciones se volvieran inaccesibles y difíciles de tratar, por lo que muchas se perdieron.

En Papúa-Nueva Guinea, la tala y plantación bajo dosel produjo serias invasiones de un pasto llamado *Imperata*. Por lo tanto, la intensidad de la tala se redujo y se plantó *Araucaria hunsteinii* para controlar al *Imperata* con un crecimiento natural del sotobosque (Godlee y White 1976).

La plantación bajo dosel tuvo éxito en los bosques de dipterocarpáceas en colinas de Malasia (Gill 1970). El espaciamiento fue de 3 m x 10 m, y se usaron plantas de regeneración natural y siembra directa de semillas.

Observaciones de la regeneración de *Cedrela odorata* en Cuba hicieron pensar en la plantación bajo dosel (Roig 1946), ya que la especie aparentemente tolera la sombra parcial durante sus primeros años. En 1942, Holdridge (1942a) propuso establecer *Cedrela* en Puerto Rico a una densidad de 12 árboles por hectárea entre especies vecinas compatibles.

En Surinam se probó la técnica con espaciamientos de 10 m (Vega 1977). Todos los árboles indeseables con ≈ 20 cm dap fueron envenenados, y se programó un segundo envenenamiento seis meses más tarde, en caso de que fuera necesario. Las especies prometedoras incluían: *Aucoumea klaineana*, *C. angustifolia* y *Cordia alliodora*.

Árboles de *Cedrelinga* plantados bajo dosel en Tingo María, Perú, alcanzaron una altura de 14 a 16 m a los seis años (Burgos 1955). Pruebas efectuadas en Belterra, Brasil, a lo largo del río Tapajós, también arrojaron resultados prometedores después de cuatro años con *Bagassa guianensis*, *Carapa guianensis*, *Cordia goeldiana*, *Schefflera morototoni* y *Swietenia macrophylla* (Yared y Carpanezi 1981), aunque *Enterolobium maximum* ramificó demasiado, *Aspidosperma desmanthum* y *Genipa americana* crecieron muy lentamente, e *Hymenaea courbaril* mostró tendencia a inclinarse. En Misiones, Argentina, plantaciones bajo dosel con *C. trichotoma* crecieron hasta 10 cm dap y 8 m de altura en siete años (Cozzo 1969). Se tuvieron que abrir grandes claros (de 10 a 15 m) para esta especie.

Una técnica inusitada se aplicó con éxito en el sur de Queensland, Australia (Bevege y Richards 1970; Richards, B.N. 1961). En sitios donde *Araucaria cunninghamii* no prosperaba debido a los suelos pobres, la especie creció bien si se plantaba debajo de una plantación de seis años del *P. taeda*. El éxito se atribuyó a: 1) el papel que juega la fijación del N, 2) la disponibilidad creciente de N debido a cambios en el ciclo del N, y 3) la menor intensidad de luz que mejora el equilibrio de C y N en la *Araucaria* en sitios donde la disponibilidad de N en el suelo es reducida.

Los franceses efectuaron grandes inversiones en plantaciones bajo dosel porque consideraban aún la

plantación bajo sombra era preferible a la tala rasa seguida por reforestación (Lamb, A.F.A. 1966). Eso hizo posible mantener el ambiente del bosque y salvar los latizales que de otro modo se sacrificarían. En 1970, se practicaban dos tipos de plantaciones bajo dosel en África occidental (Wood 1970). Uno de ellos consistía en extraer todos los árboles con ≤ 30 cm dap, y todo el estrato inferior, seguido por la plantación de especies exigentes de luz, como *Cedrela*. El otro método reconocía la necesidad de una sombra inicial para especies como *Entandrophragma utile*; por consiguiente la extracción del dosel se efectuaba gradualmente después de plantar.

A la luz de las experiencias con plantaciones bajo dosel se han extraído las siguientes recomendaciones generales (Dawkins 1958c, 1961c; Foury 1956; White 1976a):

- Usar sólo cuando no hay mercado para posibles raleos.
- Impedir incendios y la presencia de animales ramoneadores.
- No dejar un dosel superior.
- Plantar lo más pronto posible después de la extracción.
- Abrir los corredores de este a oeste.
- En el espaciamiento, considere un 20% más que el diámetro final de la copa, para promover la diversidad del bosque entre las hileras.
- El espaciamiento entre árboles debe ser menor de un quinto de la distancia entre hileras.
- Usar sólo especies vigorosas exigentes de luz (como las de los claros) que también toleran una competencia intensa de las raíces.
- Elegir especies que crecen 1,5 m/año en altura y que se autopodan desde el principio.
- Usar plantones de 1 a 2 m de altura.
- Reducir la competencia de la sombra directa rápida y efectivamente.

- Efectuar raleos en las hileras con base en la forma y la altura, y no el dap (excepto para favorecer los árboles más grandes).

Pocas especies de árboles comerciables cumplen con los requisitos de crecimiento especificados aquí. En África, *Cedrela*, *Maesopsis*, y *Triplochiton* los cumplen, pero no muchas maderas cuya demanda futura es buena podrían ser producidas efectivamente mediante esta técnica.

La plantación bajo dosel ha evolucionado hacia mayores aperturas y limpiezas drásticas para fomentar el establecimiento de especies intolerantes, lo que ha provocado la extracción de casi todo el bosque original (Catinot 1969b). Es probable que haya que envenenar el dosel hasta ≤ 30 cm dap, y además hay que cortar el estrato inferior (Wood 1970). En el hemisferio occidental, parte del dosel se deja hasta que los árboles de especies valiosas, como *Cordia* y *Swietenia*, se desarrollan antes de su completa liberación (Fig. 5-2). En todos los casos, sin embargo, el bosque original se reduce en buena medida.

Donde abundan los bosques secundarios accesibles, la plantación bajo dosel quizás sea superior a la regeneración natural o a la plantación a campo abierto. Además, promete un comienzo inmediato de la producción con una inversión pequeña, aún en sitios demasiado pobres como para plantación intensiva. Si las presiones por un cambio a favor de cultivos agrícolas se vuelven demasiado intensas, en vista del largo período de espera para la cosecha final, se pueden obtener productos intermedios como postes, madera para pulpa o leña, de los árboles que sobreviven o que surgen en asociación con el cultivo agrícola principal.

Plantación en grupos. La plantación en grupos es una variación de la plantación bajo dosel. Se plantan grupos de 9 a 25 plántones a distancias de 10 a 20 m entre uno y otro. Los árboles se siembran a aproximadamente 1 m de distancia, generalmente en disposiciones triangulares (Ironside 1954). La plantación en grupo no se ha usado extensamente pero parece prometedora en ciertos lugares del África occidental (Catinot 1969b). El sistema se ha usado con éxito en el antiguo Zaire (Dawkins 1955a). En Uganda, *Aucoumea*, *C. alliodora* y *M. eminii* son especies que tuvieron un mejor desarrollo plantadas en grupos que en hileras. Dawkins (1958e) recomendó el establecimiento de 75 a 125 grupos por hectárea de 13, 19 o 21 árboles, con espaciamientos de 30 a 60 cm. Los árboles centrales del triángulo tienden a crecer

derechos y libres de malezas y trepadoras. En Surinam, grupos que contienen sólo tres árboles, generalmente *A. klaineana*, *Cedrela angustifolia* o *Cordia alliodora*, se han espaciado con 5 a 10 m de separación. Pruebas efectuadas en Brasil con *S. macrophylla* bajo mucha sombra demuestran cierto éxito para combatir el gusano barrenador. Generalmente, sin embargo, las plantaciones del sotobosque en hileras tienen un mayor potencial de selección de árboles de futura cosecha que la plantación en grupos, y quizás requiera una menor cantidad de material de plantación.

Forestación. Sólo se confía en la forestación cuando es necesario plantar árboles para desarrollar una cobertura forestal o un cultivo de madera en dos situaciones: donde no hay cobertura previa (replantación forestal o aforestación), o donde se había eliminado (reforestación). Aún donde el aclarado del terreno u otra preparación del sitio no se necesita o son comparativamente baratos, la inversión inicial requerida para la forestación es suficientemente alta como para exigir un terreno favorable, suelo de calidad y accesibilidad -características que quizás también ejerzan gran presión para usos contrarios, marginales y agrícolas. Para madera de aserrío, la cantidad de árboles plantados



Fig. 5-2. — Los árboles plantados en aperturas del dosel tienden a desarrollar fustes derechos.

quizás sea mucho más que los de cosecha final, ya que el exceso se ralea, siendo sacrificado o cosechado como producto intermedio.

El potencial de la forestación para la productividad es enorme, pero también lo son los riesgos. Generalmente, los rendimientos de árboles aprovechables y de buena calidad sobrepasan en mucho los rendimientos de los demás sistemas de producción. Pero los fracasos son comunes y a menudo extensos, porque no se reconocen las restricciones de los sitios y los límites de adaptabilidad de las especies arbóreas (pocas de las cuales son verdaderamente “nativas” en sitios deforestados y particularmente deteriorados).

Composición de la plantación

La composición de especies de una plantación es la clave principal de su éxito o fracaso, en términos de productividad, rendimiento y rentabilidad.

Evaluación de las especies arbóreas. La plantación de especies forestales se ha efectuado en todos los países tropicales, y en cada uno se ha dado una búsqueda de especies de árboles inigualables, como parecía ser la teca en la India. Muchos fracasos convencieron a la mayoría de los forestales de que no debían emprender grandes plantaciones en los trópicos, sin hacer antes pruebas de especies (Lamb 1968a). La necesidad de efectuar tales pruebas fue evidente en Hawái, un grupo de islas con pocas especies de árboles nativos. Entre 1921 y 1947, se introdujeron casi 700 especies de árboles y se plantaron casi 10 millones de árboles (Bryan 1947). De esas especies sólo 72 se adaptaron bien. Sin embargo, la selección de especies continúa siendo arbitraria, a pesar de (o posiblemente debido a) la gran experiencia y tradición. Además, el problema se ha exacerbado porque la información pertinente no se la comunican a los que eligen las especies. A la disposición hay una cantidad de buena información en excelentes compendios, tales como Streets (1962), Fenton *et al.* (1977), Jacobs (1981), Francis (1984-presente) y Webb *et al.* (1984).

La selección errónea de especies continúa provocando muchos fracasos en las plantaciones de los trópicos porque los encargados no toman en cuenta el clima intrincado y los patrones del suelo en regiones montañosas, y toda la degradación del sitio causada por las prácticas previas de cultivo, pastoreo o incendios. Aún entre especies adaptadas, una selección cuidadosa es importante porque, si se eligen las mejores

variedades, se pueden duplicar los rendimientos (Krishnaswamy 1957b).

Los rendimientos de las coníferas y de los eucaliptos generalmente incluyen los productos de los raleos. Rendimientos anuales de 28 m³/ha/año (43 m³/ha/año en sitios de primera clase) son comunes. Aún mayores rendimientos se han registrado a partir de clones en Brasil. Estos rendimientos contrastan con una gama de 14 a 21 m³/ha/año para otras especies, para las cuales los raleos son de poco valor.

Según Dawkins (1964a) en el trópico es posible alcanzar rendimientos que sobrepasan 30 m³/ha/año a altas elevaciones o latitudes, en zonas con noches frías o con una estación fría. Su hipótesis es que en las tierras bajas ecuatoriales, la respiración puede ser tan rápida y continua que las pérdidas resultantes del fotosíntato reducen significativamente la productividad neta.

Cualquiera que sea la causa de la alta productividad, esta ha sido el criterio principal para la selección de especies para plantaciones, y a menudo la selección se hace con base en el comportamiento inicial de árboles que todavía no han ocupado el espacio total disponible. Se justifica una evaluación más completa. Odum (1969) indica que la elección de una especie por su calidad suculenta y su crecimiento, implica mayores inversiones en el control químico de las plagas, aumentando la posibilidad de envenenar organismos útiles, sin mencionar a la gente y al ambiente. El se pregunta por qué no practicar la estrategia opuesta; es decir, seleccionar plantas no palatables o que producen sus propios insecticidas sistémicos a medida que crecen.

Bunting (1976) sugiere que la selección se haga, no con base en la competencia sino en el comensalismo (un organismo beneficia, el otro no se daña), el mutualismo (ambos organismos benefician), o la compatibilidad (los organismos se llevan bien, con poco o ningún costo para ninguno).

A la larga, el carácter sostenible de las distintas especies de las plantaciones será la consideración primaria. La importancia de esto se ve en los efectos de las distintas especies sobre las reservas de nutrimentos en el suelo, a través de un período de 18 años (Cuadro 5-10).

Schulz y Rodríguez (1966) concluyen que la decisión final sobre la selección de las especies madereras siempre se basa en consideraciones económicas. La

aceptación de un producto por la industria y el comercio es fundamental. Por consiguiente, especies de árboles desconocidas en el mercado, aunque tengan excelentes características silvícolas, quizás no ameriten ser seleccionadas para las plantaciones.

Barnes y Mullin (1976) sugieren que la productividad de las plantaciones podría aumentar aún más si se mejora la adaptabilidad de las especies aceptadas mediante el cultivo y manejo, en vez de seguir buscando nuevas especies. Burley (1980b) describió una secuencia lógica para la selección: 1) determinar las especies adecuadas para el sitio mediante pruebas de eliminación; 2) aplicar una fase de prueba a las especies posibles, 3) mejorar genéticamente las especies seleccionadas.

Plantaciones puras y mixtas. La búsqueda de simplicidad ha promovido el establecimiento de plantaciones puras de árboles madereros, pero desde tiempo atrás se debate sobre las ventajas y desventajas de los monocultivos y policultivos o cultivos mixtos. Laurie (1941c) y Wakeley (1954) esbozaron como ventajas de las plantaciones mixtas: 1) mantienen o mejoran la calidad del sitio, 2) aseguran que la plantación completa no sea destruida por un solo agente (tales como insectos u hongos), 3) podrían mejorar la forma del fuste (competencia lateral), 4) permiten comparar el desempeño de distintas especies, (5) aseguran que el crecimiento no se estanque, si el raleo se debe prorrogar, 6) garantizan el abastecimiento de semillas de buena fuente de más de una especie, 7)

producen un rendimiento de mayor valor si se tienen dos o más especies compatibles. Sin embargo, parte del apoyo a las plantaciones mixtas es más emocional que intelectual. Una plantación mixta armoniza mejor con la vegetación natural de los trópicos húmedos; por lo tanto, la tendencia es de confiar en las plantaciones mixtas y dudar de los monocultivos, y puntos de vista presentados en forma abstracta y sin apoyo (Dickenson 1972) hacen poco por clarificar el asunto. La situación es tal, que el término monocultivo ha adquirido una connotación negativa, entre otras, por las siguientes razones: 1) la amenaza de que se produzca una demanda excesiva por ciertos nutrimentos del suelo, 2) la acumulación de sustancias alimenticias y un ambiente propicio para la cría de insectos y hongos, 3) un desequilibrio en el rendimiento de los nutrimentos al suelo, 4) una protección dudosa al suelo, 5) poca o ninguna variedad de alimentos para los pájaros (Boyce 1954).

Florence (1967) predijo que la declinación de la productividad es más probable en bosques puros que en los mixtos, debido a la probabilidad de que ciertos nutrimentos escaseen cuando se los recicla según las necesidades de una sola especie. Sin embargo, este efecto puede ser amortiguado por la composición de la hojarasca, que tiende a reflejar el contenido de nutrimentos de las copas.

A pesar de estas inquietudes, en Nueva Zelandia donde existen vastas extensiones de plantaciones puras de *P. radiata*, no se han registrado planes oportunos para la

Cuadro 5-10.—Efectos de distintas plantaciones de árboles tropicales en las reservas de nutrimentos en el suelo durante 18 años

Sitio y especie	Rotación (año)	Cambio en la cantidad de nitrógeno (%)	Cambio en la cantidad de potasio (%)
Suelo muy fértil			
<i>Eucalyptus</i>	3.0	-20.9	— ^a
<i>Leucaena</i>	4.5	+24.7	— ^a
<i>Pinus</i>	1.0	— ^a	-20.2
Suelo infértil			
<i>Eucalyptus</i>	3.0	+29.5	— ^a
<i>Leucaena</i>	4.5	+213.0	— ^a
<i>Pinus</i>	1.0	— ^a	-27.5

Fuente: Jorgensen y Wells 1986.

^aSin medir.

plantación de ninguna otra especie. Sin embargo, la opinión de la gente responsable favorece el desarrollo de otras especies, como alternativa, por si acaso se necesiten (Anón. 1979a).

Con base en las experiencias en Ghana, Foggie (1957) concluyó que las plantaciones puras de madera se deben evitar, excepto donde tales plantaciones son necesarias por razones económicas o de otra índole, y que se debería permitir que el estrato inferior natural se desarrolle, apenas el cultivo principal comienza a dominar. Sin embargo, Foggie describe las complicaciones del manejo que surgen si se usan especies mixtas con distintas tasas de crecimiento. *Terminalia* y *Triplochiton* crecen cuatro veces más rápido en altura que las *Meliaceae* africanas y forman copas mucho más temprano; por lo tanto, la mezcla con especies más lentas tiende a prolongar el período de cultivo.

La experiencia en Inglaterra sugiere que el uso de tres o cuatro especies quizás sea más productivo, pero es una práctica complicada (Darrah y Dodds 1967). Mezclas de especies coníferas y latifoliadas son exitosas si las coníferas sobrepasan a las latifoliadas y se pueden vender antes. Se sugieren patrones especiales para el establecimiento de la plantación, con el fin de acomodar las diferencias en la formación de las copas.

Una observación efectuada en Inglaterra parece ser aplicable a los sitios degradados que generalmente se plantan en los trópicos. Los sitios pobres tienden a restringir la selección de especies y resultan en monocultivos (Malcolm 1979).

Laurie (1941c) describió varios intentos de efectuar mezclas en la India que aparentemente fracasaron. Las mezclas con teca resultaron en formas más pobres del árbol que las que se obtienen en rodales puros. Aún las especies complementarias no son de valor igual, así que las mejores especies presumiblemente serían más valiosas si estuvieran solas. La mezcla de teca con *Pterocarpus marsupium* suprimió a la teca, en tanto que teca con *S. macrophylla* resultó en que esta dominara a la teca en suelos apropiados para la teca y que la teca dominara a *S. macrophylla* en latosoles. Si se mezclan *Gmelina arborea* y *Dipterocarpus turbinatus*, la primera es tan dominante que se tiene que ralea demasiado para permitir que crezca *D. turbinatus*. La mezcla de teca con un sotobosque de bambú (*Melacanna*) dio resultados positivos.

Una afirmación ya vieja sobre la teca (Champion 1932) todavía es interesante:

Desde el punto de vista puramente económico, el valor de la madera de la teca es tanto mayor que el de cualquier otra especie con la cual puede crecer, que aún los árboles relativamente pobres son mejor negocio que cualquier otra alternativa. Por consiguiente, se justifican los gastos que ayudan a solventar las dificultades silvícolas, si es que las hay.

En apoyo de las mezclas, se ha indicado que aunque las especies pueden crecer puras en la naturaleza, no existe ningún indicio de que desde el punto de vista comercial, se deban cultivar de la misma forma (Peace 1957). La falta de especies competidoras en el sitio natural puede deberse a otras causas que no tengan nada que ver con la preferencia de la especie.

Un problema casi universal con la mezcla de especies es su mantenimiento. Diferencias en las tasas de crecimiento resultan en que una especie se vuelve dominante, mientras que las demás se van quedando atrás (Anón. 1952g, White 1976a).

Un ejemplo que involucra a dos especies de crecimiento rápido en las Filipinas ilustra algunas de las dificultades del manejo de las mezclas (Zabala 1975). Las dos especies, *Paraserianthes falcataria* y *Anthocephalus chinensis*, se plantaron a espaciamientos de 2 m x 2 m. Después de cinco años y medio, los árboles de *P. falcataria* eran más grandes en dap y volumen que en un monocultivo, mientras que los de *Anthocephalus* eran más pequeños. Los primeros suprimieron a los segundos y aparentemente se apoderaron de su espacio.

Las experiencias en Puerto Rico dan mayores ejemplos de las dificultades del manejo de mezclas de especies. Dos o más especies que inicialmente se pensaba eran compatibles, rara vez lo son. Si una crece más que la otra, la de crecimiento más lento se debe preservar, sacrificando de tal modo la productividad, o sacrificar, a expensas de la mezcla. Si se mezclan una especie intolerante de crecimiento rápido y una otra especie tolerante de crecimiento más lento, quizás se resuelve el problema de la compatibilidad, pero el resultado es dos rotaciones, mediante las cuales el cultivo más tardío se somete a los daños de la tala del primer cultivo, mientras que las tasas de crecimiento de ambos cultivos son probablemente más lentas.

Lo que se ha dicho aquí parece ser una defensa de las plantaciones puras, pero no es una objeción en contra de las especies del estrato inferior, distintas del cultivo principal, a menos que constituyan un serio peligro de incendio. Por lo general, los sotobosques consisten de especies mixtas nativas.

Las plantaciones puras, aún de teca, han sido criticadas desde un principio, a pesar de que el llamado “problema” de la plantación pura de teca era una falsa alarma, si se usan buenos sitios y buenas variedades (Laurie y Griffith 1937). Un argumento favorito de los que adversan los monocultivos es “la enfermedad del abeto Sajón”, una progresión de cosechas cada vez peores en plantaciones sucesivas de abetos en Alemania, en un sitio antiguamente cubierto por un bosque mixto de especies latifoliadas (Smith 1962). Sin embargo, estudios a fondo han demostrado que ese fenómeno ocurrió porque en ese sitio se plantó una especie incorrecta, y no por el monocultivo.

El fomento de la diversidad en sí, por otro lado, quizás no mejore la estabilidad del ecosistema (Murdoch, citado por Clarke 1976). La variable esencial no es simplemente el mayor número de especies, sino las especies mismas y las interacciones entre ellas.

Las observaciones iniciales en plantaciones puras de teca en la India no apoyaron las serias inquietudes que se expresaban en aquel entonces (Kadambi 1945). No se disminuyó el crecimiento. El sotobosque en rodales bien manejados parecía controlar la erosión. Ni el acanalado de los troncos ni el daño producido por insectos eran peores que en los bosques naturales. Además, la madera se vendió al mismo precio que la madera de crecimiento antiguo.

Un estudio del contenido de nutrimentos de la hojarasca en Brasil no proporcionó evidencias de que el monocultivo, por sí, provocara un mayor agotamiento de las reservas de nutrimentos del suelo que las mezclas, siendo todos los demás parámetros iguales (Chijioko 1980). El agotamiento rápido de los nutrimentos se asocia claramente con el crecimiento rápido, rotaciones cortas y cosecha a tala rasa; pero se necesitan mayores estudios para demostrar si un sólo cultivo inmoviliza los nutrimentos más rápido que un cultivo mixto.

Rendimientos. Las plantaciones puras de gran extensión no se hubieran establecido ni continuado si no hubieran argumentos en su favor. Una declaración clásica de

Champion (1933) manifiesta la posición adoptada que resultó en el establecimiento de extensas plantaciones de teca en el sur y sureste asiático:

Aún más que en Europa, las especies únicas tienden a sobrepasar económicamente a todas las especies asociadas, hasta tal punto que, solamente desde el punto de vista financiero, las especies asociadas de mayor potencial, son incapaces de igualar el rendimiento de un cultivo puro, cuya clasificación inferior equivale a dos clasificaciones menores a las suyas. Ya que nunca se ha demostrado que la calidad del suelo disminuye, es improbable que la formación de bosques mixtos mejore las condiciones del suelo más que una fracción de la clasificación de calidad, mucho menos dos. Una mejoría tan pequeña puede obtenerse igualmente con un buen sotobosque natural y mixto. Se necesitan más investigaciones al respecto, pero parece que la formación de mezclas para el mantenimiento o mejora de la calidad de un sitio probablemente no valen la pena.

Las famosas plantaciones de Changa Manga en Paquistán son mezclas de varias especies de árboles destinadas principalmente a la producción de leña. Cuando un visitante australiano vio la posibilidad de duplicar los rendimientos plantando eucaliptos (Pryor 1968a), recomendó específicamente en contra de una mezcla de *Eucalyptus* con *Dalbergia* y *Mora*, las mezclas de especies que se habían plantado hasta entonces. En vez, recomendó que se ensayaran tres especies de *Eucalyptus* y luego que se eligieran las especies que mejor se adaptaban a cada sitio.

La perspectiva de que una plantación de cultivos mixtos produzca un “super-rendimiento” (eso es, exceda el rendimiento de cualquier cultivo único) es uno de los atractivos de las mezclas de especies. Desde el punto de vista financiero, un resultado tal debe ser extremadamente raro. El rendimiento mixto de 572 pastos y granos generalmente resultó en un rendimiento intermedio del obtenido en monocultivo por los componentes mejores y peores (Trenbath 1974). Los rendimientos relativos se aproximaban a la unidad; eso es, lo que una especie ganaba, otra lo perdía. En los pocos casos en que el rendimiento de la mezcla sobrepasaba al monocultivo, no se podía estar seguro de si los resultados se podían repetir.

Un ejemplo interesante de super-rendimiento de árboles forestales se halla en Hawai (DeBell *et al.* 1985). Se

plantaron *Eucalyptus* con árboles leguminosos en hileras alternadas a espaciamientos de 2 m x 2 m. Los eucaliptos de la mezcla fueron de mayor tamaño que los de rodales puros a los 65 meses; además, los bosques mixtos produjeron 1,4 a 2,5 veces más fibra de madera seca que la plantación pura (Cuadro 5-11). Los niveles de nutrimentos en las plantaciones mixtas de *Eucalyptus* sugieren una contribución de los árboles leguminosos. Resultados similares se registraron en el noroeste de los EE.UU en un rodal de 27 años de *Pseudotsuga*, con y sin sotobosque de *Alnus*, una especie fijadora de nitrógeno (Tarrant 1961). El contenido de N del follaje de *Pseudotsuga* y del suelo fue significativamente mayor con el *Alnus*. Después de 20 años, *Pseudotsuga* en rodales mixtos también crecía más rápidamente.

Laurie (1941c) consideró que las mezclas brindaban protección contra los ataques de insectos, pues al estar separados los árboles de una misma especie se retrasaba la diseminación de las plagas. Sin embargo, en plantaciones cerradas de pocas especies, tal protección quizás sea imperceptible. Además, no aportó evidencia de que la mezcla afectara significativamente la incidencia de ataques de insectos o enfermedades. Sin embargo, un sotobosque mixto es un buen hábitat para los parásitos y depredadores de los insectos.

Cuadro 5-11.—Sobreproducción de *Eucalyptus* plantado con árboles leguminosos en Hawái

Tipo de plantación	Resultados a los 65 meses		
	dap (cm)	Altura (m)	Peso seco (t/ha/año)
<i>Eucalyptus saligna</i> puro	9.5	11.6	6.9
Mixta			
<i>Eucalyptus</i>	12.1	14.9	6.5
<i>Acacia melanoxylon</i>	9.3	11.3	3.0
Total			9.5
Mixta			
<i>Eucalyptus</i>	15.3	19.0	10.7
<i>Paraserianthes falcata</i>	14.6	18.1	6.8
Total			17.5

Fuente: DeBelle et al. 1985.

Nota: La sobreproducción se define como el rendimiento adicional de *Eucalyptus* en asocio con leguminosas, en comparación con la plantación pura.

Los ataques del gusano barrenador, *Hypsipyla* spp., han provocado el abandono de *Cedrela* como cultivo puro en gran parte del neotrópico. Se propusieron plantaciones mixtas hace tiempo (Andrade 1957), y en algunas zonas los ataques del barrenador se ha reducido aunque no eliminado. El descubrimiento de que los insectos tienen un radio de vuelo limitado tiende a explicar la reducción (Grijpma 1976).

Un resumen de la experiencia con monocultivos forestales concluyó en que el sistema se relaciona directamente con el aumento en la cantidad y severidad de plagas y enfermedades en los cultivos forestales (Gibson y Jones 1977). Los efectos de las enfermedades han sido mayores en los viveros y en las etapas iniciales de las plantaciones. Pero gran parte de este aumento se atribuye a las condiciones uniformes y apiñadas de las plantaciones y a las operaciones del cultivo que a menudo tienden a exacerbar otros problemas.

Algunos creen que los pronósticos más pesimistas de los peligros que resultan de los monocultivos forestales se han justificado completamente (Gibson y Jones 1977). Sin embargo, muy pocas epidemias de plagas forestales y enfermedades en los trópicos pueden atribuirse a los sistemas de monocultivo. Los forestales han evitado las plagas mediante una elección estratégica de las especies. La economía de las plantaciones intensivas permite invertir en protección. Además, la naturaleza compacta de las plantaciones de manejo intensivo ayuda al control de las plagas (Gibson y Jones 1977).

Peace (1957) cita el ejemplo del hongo *Armillaria mellea*. Si este hongo ataca a un rodal puro, el daño es serio. En un rodal mixto, el ataque es menos devastador si una o más de las especies que lo componen es resistente. Desde luego, si todos los árboles son de especies resistentes (lo que tiende a la pureza), el ataque tendría el menor impacto posible. Dicho de otro modo, si existen dos o aún cinco especies en la mezcla, los árboles de cada especie estarían tan cerca el uno del otro que, en un ataque de plagas o enfermedades, todos los árboles de la misma especie sufrirían de la misma manera que si crecieran en un bosque puro. Si solo una especie de la mezcla es susceptible al daño, eso representaría sólo la mitad o un quinto del rodal, en vez del rodal entero si se tratara de una plantación pura. Del mismo modo, sin embargo, la probabilidad de que ocurra una epidemia que afecte a una sola especie en una plantación pura debe ser la mitad o un quinto de lo que sería si dos o cinco especies estuvieran expuestas al

ataque. Teóricamente, el riesgo debe ser el mismo. Las advertencias de los teóricos sobre la susceptibilidad de los monocultivos a los riesgos de pestes y enfermedades se apoyan en sólo unos pocos ejemplos en los trópicos, según las observaciones de Rosayro (1954) y su afirmación aparentemente todavía es válida.

Las plantaciones recientes de *Leucaena leucocephala* en rodales puros en el Asia y el Pacífico han enfrentado un insecto defoliador llamado ‘pulgón de leucaena’ (*Heteropsylla cubana*) (van den Beldt y Napompeth 1992). Los primeros informes describieron una muerte regresiva súbita y generalizada. Para el segundo año, la peste había alcanzado su punto máximo, pero al tercero casi había desaparecido. Aún las variedades más susceptibles de leucaena sobrevivieron en zonas infestadas. La resistencia puede deberse en parte a la existencia de variedades resistentes en las cercanías.

Especies nativas versus exóticas. De las miles de especies que crecen en bosques tropicales naturales, muchas son muy valiosas como para justificar su cosecha para uso humano. Entonces, ¿qué mejor fuente de árboles para cultivo que los bosques nativos?; o bien, ¿no hay peligro de que las especies exóticas borren del mapa a las especies nativas? Estos razonamientos han constituido un fuerte apoyo para el uso de especies nativas, siempre que fue posible (Parker 1940).

El término ‘exótico’ no siempre se usa en un sentido ecológico, sino que comúnmente se refiere a fronteras políticas en vez de naturales. Por ejemplo, algunas especies de lo que hoy es Myanmar se consideraron exóticas en la India cuando los dos países se separaron en 1937. ¿No son las especies del litoral igualmente exóticas para las tierras altas del mismo país? Del mismo modo, la frase ‘especie nativa’ quizás no tenga mucho significado. Aunque una especie nativa de una zona puede estar mejor adaptada al sitio que una especie no nativa, el sitio en el que se está plantando rara vez se parece exactamente al sitio donde la especie nativa crecía en forma natural. La cuestión importante es descubrir si la especie es “nativa” o “exótica” con respecto a un sitio que ha sido repetidamente aclarado, quemado, cultivado o pastoreado. Estos cambios posiblemente son tan drásticos que las especies que no se encontraban en el antiguo bosque nativo, quizás sean las que mejor se adaptan al sitio. Una amplia capacidad de adaptación a tales condiciones caracteriza a los eucaliptos y a los pinos, y explica su gran popularidad en los trópicos. En la selección de especies,

el desempeño futuro es más importante que el origen. Si se rechaza arbitrariamente a las especies exóticas, se excluyen muchas especies que quizás nunca tuvieron la oportunidad de emigrar al sitio, pero que no les falta capacidad de adaptación para ello.

Para ser exitoso, un árbol maderable exótico debe ser: 1) capaz de servir un propósito particular mejor que las especies locales disponibles; 2) apropiado al clima y al suelo de la región; 3) de fácil crecimiento y regeneración; 4) resistente a peligros como incendios, insectos, enfermedades y pastoreo (Laurie 1941g). Estos requisitos parecieran severos, y es razonable preguntar cómo un árbol exótico puede ser capaz de desempeñarse mejor que las especies nativas. Sin embargo, algunas especies exóticas prometedoras tienen un vigor y una tasa de crecimiento extraordinarios. Rechazando la teoría que las especies forasteras son inherentemente más agresivas simplemente porque son forasteras, Egler (1942) indicó que en Hawai, las especies exóticas parecen ser exitosas porque el ambiente de la región ha sido alterado por los seres humanos; si la influencia humana desapareciera, las ventajas de las especies exóticas disminuirían.

La introducción de especies exóticas quizás esté condenada al fracaso si no provienen de un ambiente similar, o por otro lado, podrían escaparse de las manos y “naturalizarse”, algo que la mayoría de las veces se considera indeseable. Aún la especie exótica seleccionada con el mayor cuidado, necesita de ensayos para comprobar su adaptabilidad y desempeño en el sitio mientras la plantación se mantiene en pequeña escala.

Las primeras introducciones de especies se basaban en datos imprecisos sobre los requisitos y utilidad de las especies, y aún sobre su identidad. Hasta 1960, se habían introducido 837 especies en Hawai (Nelson 1965). Se plantaron 80 especies con más de 10 000 árboles para cada especie. De 16 especies neotropicales se plantaron 1 290 000 árboles; pocas resultaron prometedoras.

Las pruebas iniciales de plantación en América tropical favorecieron el uso de especies nativas. Gonggryp (1948), después de una serie de pruebas iniciales en Surinam, recomendó mayores estudios con *Bertholletia*, *Carapa*, *Caryocar*, *Eperua*, *Goupia*, *Hymenaea*, *Manilkara*, *Mora*, *Schefflera*, *Triplaris*, *Virola* y varias especies nativas de Lauraceae.



Fig. 5-3. — La necesidad de evitar un control de malezas costoso ha conducido a la selección de especies de árboles de crecimiento inicial muy rápido, según lo ilustra el desarrollo de *Anthocephalus chinensis*, en su primer año.

Del Brasil también llegaron propuestas para uso al máximo la flora forestal nativa (Klein 1966, Pitt 1966, Wasjutin 1951). Se pensaba que si se sustituía la flora nativa con especies foráneas, se crearían disonancias entre el suelo, la flora y la fauna de la región. Se sugirieron listas de especies pioneras para plantaciones de ensayo con géneros, como *Andira*, *Araucaria*, *Aspidospermum*, *Balfouradendron*, *Buchenavia*, *Calophyllum*, *Cedrela*, *Chlorophora*, *Colubrina*, *Copaífera*, *Cordia*, *Hyeronima*, *Jacaranda*, *Lonchocarpus*, *Manilkara*, *Myriocarpus*, *Ormosia*, *Piptadenia*, *Tabebuia* y *Xylopia*.

En la India, numerosas especies nativas tienen mejor crecimiento que las exóticas (Qureshi 1968a). Especies de géneros como *Anthocephalus*, *Artocarpus*, *Gmelina*, *Lophopetalum*, *Michelia*, *Terminalia* y *Toona* son capaces de exceder 10 m³ /ha/año (Fig. 5-3).

Además de las especies madereras conocidas, existen muchas otras que se usan rara vez, aún dentro de su rango natural; entre ellas, *Acacia albida*, *Brosimum alicastrum* y *Prosopis tamarugo*, para forraje y proteína; *Caryocar brasiliensis*, *Gulielma utilis* y *Orbignya martiana*, para aceite; *Simmondsia chinensis*, para cera y aceite (McKell 1981). Estas especies prosperan bajo condiciones adversas aparentemente porque son nativas.

Las pruebas iniciales de plantación en la región del Pacífico colombiano (300 a 440 cm de precipitación

anual) indican que las especies nativas tienen mejor comportamiento que las exóticas (Peck 1976a). Se rechazó al *Anthocephalus chinensis* por su mala forma; se definieron como promisorias *Cedrela spp.*, *Cordia alliodora*, *J. copaia*, *Ochroma lagopus* y *Zanthoxylum tachudo*.

En Malasia, un país bien equipado de especies nativas, no se introdujeron especies exóticas hasta mucho después que en otros países. Barnard (1953) afirmaba que la calidad de la madera, la forma del tronco y la tasa de crecimiento de muchas especies arbóreas nativas dejaban poco que desear; concluyó que las especies exóticas tendrían que ser muy sobresalientes en cuanto a calidad de la madera, tasa de crecimiento y facilidad de establecimiento para ser introducidas en lugar de las especies nativas, para las cuales se podía establecer la regeneración de manera exitosa y económica.

Con el aumento de la población en los trópicos y la demanda creciente por maderas útiles, se han desarrollado mercados para un mayor número de especies de árboles nativos. Sin embargo, tal demanda no se abastece y la escasez a nivel regional sólo ha de empeorar. Con ello, el énfasis de la producción de madera se ha puesto en la cantidad, más que en la calidad. A pesar de las presuntas ventajas de las especies nativas, la necesidad por mayores rendimientos ha provocado una reevaluación de sus méritos. Así, a pesar de que actualmente se fomenta el uso de especies nativas, la experiencia en cuanto a la producción de madera en los trópicos ha resultado casi universalmente en una preferencia por maderas exóticas. Por ejemplo, aunque hasta 1937 se habían probado 450 especies de árboles nativos en la India (Sen Gupta 1937), las especies exóticas se usan más extensamente. Las especies exóticas son especialmente populares para la producción de pulpa en los peores sitios, como suelos arenosos, dunas, pantanos y suelos agotados, donde los bosques nativos consistían de una mezcla de baja calidad y poco valor comercial (Chaudhuri 1952).

Era evidente que las necesidades por madera de construcción en la India exigían una producción más rápida de lo que era posible con muchas especies de árboles nativos (Sahni 1965). En las regiones secas especialmente, las especies nativas crecen muy lentamente (Kaul y Nambiar 1966); además, la mayoría de las maderas nativas son pesadas, duras y difíciles de secar. Por consiguiente, de 1958 a 1966, se introdujeron 277 especies de árboles y matorrales para leña y forraje



Fig. 5-4. — Los eucaliptos han sido extensamente seleccionados en el neotrópico debido a su rápido crecimiento y capacidad de adaptación a suelos degradados.

en Jodhpur; 15 resultaron promisorias, incluyendo ocho especies de *Eucalyptus*.

En la India, una plantación exótica de 15 años de *E. camaldulensis* acumuló más materia orgánica que un bosque mixto nativo de 55 años de *Shorea robusta* (Jha y Pande 1984). Las propiedades físicas del suelo también eran mejores bajo *Eucalyptus* que bajo *Shorea*. *Eucalyptus* aumentó el pH del suelo mientras que *Shorea* lo redujo.

La mayor resistencia al fuego de ciertas especies exóticas hizo que se introdujeran en las sabanas africanas (Adekunle 1965). En las praderas norteñas del sur del Camerún y en las sabanas de Nigeria, los eucaliptos y los pinos fueron más resistentes al fuego y produjeron más leña que los árboles nativos.

En Nigeria, la necesidad de puntales para las minas de Enugu hizo que se establecieran plantaciones de la especie nativa *Nauclea*, las cuales fracasaron, por lo que se las sustituyó con la especie exótica *Gmelina*, que sí tuvo éxito (Foote 1953). En África del Sur entre 1912 y 1927, se ensayaron 15 especies nativas; ninguna produjo rendimientos adecuados (Pudden 1957a). *Juniperus procera* (cedro lápiz del África oriental) se plantó en gran escala; *Ocotea usambarensis* (alcanfor) se adaptó sólo en elevaciones altas. Mientras tanto, las plantaciones de *Eucalyptus* ya eran productivas desde 1910, produciendo leña para el ferrocarril. Ensayos con

48 especies de coníferas demostraron que tres especies de *Cupressus* y dos de *Pinus* (*P. patula* y *P. radiata*) eran prometedoras. Otras pruebas con 150 especies de latifoliadas, incluyendo 70 eucaliptos, demostraron la buena capacidad de adaptación de *E. saligna* y *E. globulus* (Fig. 5-4).

En las sabanas de Nigeria, la comparación entre especies nativas plantadas para leña y especies de la India, como *Azadirachta indica*, *Senna siamea* y *Dalbergia sissoo*, fue desfavorable para las nativas (Page 1948). Ninguna especie de la sabana de Nigeria crece más de 2 m de altura por año, y muchas crecen mucho más despacio. Sin embargo, especies africanas nativas como *Daniellia oliveri*, *Khaya senegalensis* y *Prosopis africana*, se abren paso a través del pasto y los matorrales durante sus etapas juveniles y toleran ciertos daños producidos por los incendios, algo que las especies asiáticas no pueden hacer.

En las zonas secas del Sudán, los únicos géneros nativos que han producido madera comercial son *Juniperus* y *Podocarpus*, y ambos requieren 150 años para alcanzar la madurez (Jackson 1960). Por otro lado, especies exóticas como neem (*Azadirachta*) y *S. siamea* fueron promisorias por su madera para leña. De forma similar, en Costa de Marfil, el lento crecimiento de las especies nativas promovió la introducción de especies exóticas (Mensbruge 1968).

En 1957, ya se ensayaban 110 especies de árboles madereros exóticos en lo que hoy es Malawi (Willan y McQueen 1959). En 1960, los árboles principales usados en Uganda eran especies americanas: *Cupressus benthami*, *C. lindleyii*, *Pinus caribaea* y *P. patula* (Luechars 1960), y se ensayaba con otros pinos y *Abies religiosa*, también americanos. Casi en la misma época, se ensayaba con 18 especies americanas en el Arboreto de Maguga, Kenia, incluyendo (además de las que ya se han mencionado), *Araucaria angustifolia*, *Cedrela odorata*, *Fraxinus berlandieriana*, *P. ayacahuite*, *P. engelmannii*, *P. leiophylla*, *P. montezumae*, *P. occidentalis*, *P. oocarpa* y *Prunus salasii* (Howland y Griffith 1962).

En Fidji, el crecimiento de las especies madereras nativas, incluso la conífera de mayor cobertura, *Agathis vitiensis*, también resultó ser lento (Cottle 1957, Loweth 1953). Entre las especies nativas, sólo *Endospermum macrophyllum* parece ser prometedor; su madera blanda se usa principalmente para la construcción y para

cajones. Entretanto, se introdujeron 74 especies más promisorias.

En Surinam, se ensayaron 30 especies nativas, incluyendo *Carapa* y *Hura* en grandes plantaciones, y se llegó a la conclusión que tales especies no garantizan el establecimiento de plantaciones extensas (Schulz y Rodríguez 1966): el crecimiento era lento y mala la forma del árbol. Dos excepciones fueron *Simarouba amara* y *V. surinamensis*. Puerto Rico ha tenido una experiencia similar, aunque se ensayaron más de 100 posibles candidatos de madera nativa (Wadsworth y Schubert 1977).

Wright (1976) sugiere las siguientes razones por las cuales las especies nativas se comportan peor que las exóticas:

- La selección natural favorece la supervivencia más que las características económicas.
- La respuesta evolutiva es más lenta que los cambios ambientales.
- Los cambios causados por los seres humanos no generan reacciones evolutivas.
- Las posibilidades evolutivas de la flora nativa son limitadas.
- Las especies nativas pueden ser diezmadas por pestes introducidas.
- Las especies nativas son más sensibles a la plantación.
- La distribución natural de las especies puede estar limitada por factores que no se relacionan con su desempeño.

Un ensayo efectuado en 1966 con árboles de crecimiento rápido en los países tropicales de la Mancomunidad Británica demostró que de 19 especies probables, tres eran americanas, *C. odorata*, *Cordia alliodora* y *Swietenia macrophylla* (Pitt 1966). De 28 especies posibles, *Araucaria angustifolia*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Simarouba amara* provenían de América. Las especies americanas de baja densidad incluían los siguientes géneros: *Bombax*, *Cecropia*, *Ceiba*, *Jacaranda*, *Ochroma* y *Trema*.

Según Wood (1974) el área de bosques económicamente renovables bajo manejo sostenible en los países

tropicales es pequeña porque las prácticas de cultivo y las largas rotaciones que se consideraban prácticas en el pasado ahora son de dudosa factibilidad. Aparte de unas pocas especies, como *Terminalia* en África occidental, *Maesopsis* en Uganda, *Cordia* e *Hibiscus* en el Caribe y *Tectona grandis* en el sur y sureste de Asia, los árboles nativos crecen demasiado despacio, un lujo que sólo los países ricos en bosques se pueden permitir. Así que en la planificación a largo plazo no se debe excluir la posibilidad de incluir especies exóticas en plantaciones.

La alta productividad de los eucaliptos como especies exóticas se atribuye en parte a los mayores niveles de nutrimentos (particularmente N y P) en el exterior que en su Australia nativa (Pryor 1968a), y al alejamiento de los insectos en su ambiente natural. De acuerdo con Jacobs (1956), bajo condiciones apropiadas, las especies de eucalipto de sabana crecen más rápido fuera de Australia que en el país mismo, ya que los insectos defoliadores que evolucionaron junto con el género en Australia no fueron introducidos junto con la especie. Jacobs aconsejó a los forestales en el exterior prestar tanta atención a la variedad como a la especie misma introducida de Australia. Es probable que se compensen los gastos en selección de la variedad y recolección de semillas de árboles seleccionados (identificados mediante ensayos como de un genotipo superior). Indicó, además, que el crecimiento más rápido de los árboles en el exterior quizás vaya acompañado por una madera de inferior calidad, debido a que todavía no ha disminuido el estrés del crecimiento; para ello se recomiendan rotaciones más largas.

Según Baker (1970a), la mejor razón para cultivar plantas comerciales fuera de su hábitat nativo es el hecho de que se las separa de las enfermedades y pestes que se han desarrollado junto con ellas. Un análisis de las enfermedades de *Pinus caribaea* en su hábitat nativo, entre 300 y 900 m de altura en Belice, indica que los factores geográficos que limitan la distribución de las enfermedades minimizan cualquier amenaza a este árbol como especie exótica (Etheridge 1968). Entre las enfermedades mencionadas se hallan el muérdago enano, muérdago verdadero, necrosis de las agujas y muerte regresiva.

Selección de especies

Champion y Brasnett (1957) afirman que en la selección de especies para un sitio dado, o en la selección de sitios y especies para producir un tipo especial de madera, es necesario saber algo sobre el clima y asociación de

plantas en el sitio original, para poder buscar sitios similares. Si parece apropiado ensayar con especies exóticas, se debe considerar primero la introducción de especies de climas parecidos.

La introducción de *P. caribaea* en Misiones, Argentina mostró cómo al llevar a una especie tan lejos de su hábitat natural puede afectar su productividad (Larguía 1967). A los seis años, sólo el 4% de los árboles tenían una forma suficientemente buena como para producir madera en el futuro; muchos eran demasiado torcidos aún para pulpa. Otros defectos incluían la cola de zorro (que favorece las quebraduras durante las tormentas) y grano en espiral.

Cuando se introduce una especie lejana en un clima similar al de origen, puede pasar un largo tiempo antes que lleguen las pestes y las enfermedades que siguen a las especies introducidas. Por ejemplo, *P. radiata* de California se plantó en Australia alrededor de 1877 (Thomas 1957), y cinco años después se detectó muerte regresiva pero no causó mayores inquietudes durante más de 30 años, cuando se suspendió el establecimiento durante 3 o 4 años. Luego se reinició hasta 1957, año en que había 38 000 ha plantadas. Se detectó y corrigió una deficiencia de zinc (Zn) en 1940. También se descubrió la marchitez parda (brown top), que se redujo añadiendo N y superfosfato. De manera similar, los eucaliptos traídos al Brasil desde Australia a principios de este siglo, aunque no enteramente libres de enfermedades, todavía no han sufrido la plaga de insectos defoliadores comunes en su ambiente nativo. Y aún si ocurriera, como es bien posible, pocos se lamentarían por los buenos rendimientos logrados en plantaciones durante años. Además, la inversión ya hecha debería ser suficiente como para apoyar las investigaciones necesarias para resolver el problema o desarrollar otras alternativas.

La ecología misma de las especies exóticas parece impulsar el interés en que se ensayen. Los factores que limitan su distribución natural no son puramente un reflejo de la adaptabilidad de la especie al clima y al suelo. Los factores responsables de la distribución natural de una especie (Good 1953) generalmente incluyen: 1) lugar y tiempo de origen, 2) distribución de límites climáticos, 3) distribución de límites edáficos, 4) potencial de dispersión, 5) configuración del terreno y del mar, 6) influencias ejercidas por otras plantas (competencia directa y efectos indirectos). Si la

influencia de cualquiera de estos factores es muy adversa, es posible que la especie no esté presente en una zona, donde podría ser introducida con éxito.

En las plantaciones exóticas de Nueva Zelandia, el rendimiento máximo no se obtiene necesariamente bajo condiciones idénticas al hábitat natural de las especies (Jackson 1965). Se debe hacer una distinción clara entre los límites ecológicos y fisiológicos de la productividad. La importancia de esta distinción aumenta a medida que el manejo se intensifica.

Cuando se desea comparar la susceptibilidad de especies nativas y exóticas a las enfermedades, estas se deben plantar con espaciamientos similares (Harper 1977). No es válido comparar la incidencia de una enfermedad en plantaciones puras de especies exóticas, con la de bosques de especies nativas, regeneradas en forma natural, en espaciamientos amplios y tamaño irregular. Las especies nativas, cuando se plantan al mismo tiempo y con el mismo espaciamiento, quizás desarrollen algunos de los mismos problemas que sufrieron las especies exóticas.

Características por considerar. Los factores significativos que se deben considerar al seleccionar especies, según Fenton *et al.* (1977) y Webb *et al.* (1984), son los siguientes:

- Nomenclatura—Nombre científico; familia botánica; variedad, raza o procedencia; nombres locales y comerciales; otros nombres científicos en uso.
- Distribución natural—Unidades geográficas, rango latitudinal y altitudinal.
- Donde está en uso—Bosques naturales manejados versus plantaciones
 - Tolerancia al sitio: precipitación anual, período de lluvias, duración de la estación seca, temperatura promedio, temperatura promedio durante el mes más caluroso, temperatura promedio durante el más frío, requisitos de iluminación, textura del suelo, reacción, drenaje, salinidad.
 - El árbol: tamaño, descripción, forma, utilidad de la madera, utilidad de otros productos, usos no maderables, valor como especie protectora, valor ornamental.
 - La madera: densidad, durabilidad natural, preservación, facilidad de aserrío, secado y otras

Cuadro 5-12.—Producción de madera y propiedades requeridas por uso final

Uso Final	Requisitos de producción	Propiedades requeridas
Leña	Crecimiento rápido, culminación temprana, manejo fácil y económico, rebrota	Seca con rapidez, contenido bajo de cenizas, quema con facilidad sin olor
Pulpa	Lo mismo que el anterior; pero con fustes derechos	Largo de la fibra, color claro, bajo extractos, calidad buena para papel
Productos sólidos	Diámetro grande, crecimiento de moderado a rápido, buena forma, fácil de podar, libre de podrición fungosa	Resistencia, estabilidad, uniformidad, buena trabajabilidad y acabado
Productos laminados	De diámetro muy grande, buena poda natural, oclusión rápida	Buena figura y calidad del pelado o rebanado, buenas propiedades de ligamiento

Fuente: Evans 1992.

características.

— Regeneración: regeneración natural, fuentes de semillas, fenología reproductiva, peso de la semilla, almacenamiento de la semilla, tratamiento pregerminativo, tasa de germinación, porcentaje de germinación, siembra directa, capacidad de rebrote, mejoramiento en curso, existencias de material para plantar, espaciamento, requisitos de iluminación, requisitos de agua, tolerancia a la sombra, necesidad de poda de raíces, tamaño para llevar al campo, tiempo de producción, envases, otras necesidades en vivero.

- Manejo de la plantación desyerbado, podado, raleado.
- Rendimientos Incremento medio anual por edad.

En el Apéndice F se presenta información sobre estas categorías para muchas especies promisorias.

En su tratado clásico sobre selección de especies forestales, Champion y Brasnett (1958) se centran en los siguientes factores: requerimientos de agua, temperatura, topografía e iluminación; susceptibilidad al daño por agentes físicos y otros factores bióticos, y distribución conocida fuera de su hábitat natural. Otros estudios (Barnes y Mullin 1976, Jacobs 1981, Moni 1965) incluyen características adicionales: que las semillas no tengan que recibir tratamiento pregerminativo, capacidad de regeneración natural, capacidad de colonizar suelos desnudos, un sistema radicular

vigoroso, resistencia a la sequía y al daño producido por los vientos, capacidad de crecimiento rápido, desempeño como árbol de plantación, de corta rotación, durabilidad y versatilidad de la madera. Para plantar bajo dosel, Wood (1974) enfatizó la necesidad de emplear especies de crecimiento rápido inicial y que cierren el dosel rápidamente, como lo hacen los géneros *Cedrela*, *Gmelina* y *Terminalia* en África. Evans (1992) proporciona una lista de características útiles para clasificar especies de árboles según el uso final (Cuadro 5-12).

Una distribución natural amplia indica que la especie es muy adaptable (Sahni 1965). *Eucalyptus camaldulensis* es un buen ejemplo, porque se lo encuentra en casi todos los estados de Australia. Una excepción notable es *P. radiata*, natural de una pequeña zona en el oeste de Norteamérica, y que sin embargo se ha adaptado en un área mucho más grande en el hemisferio sur.

El éxito sobresaliente del eucalipto en plantaciones se atribuye a una cantidad de características excepcionales de este género y al hecho de que existen 700 especies y variedades (Cromer 1956). Estas especies están adaptadas a una gran variedad de climas y suelos, desde los 10° a los 43° de latitud, y desde el nivel del mar hasta los 2100 m de altitud. La mayoría toleran el fuego, se regeneran fácilmente a partir de semillas o retoños y se autopodan con facilidad. La madera de este género tiene una amplia gama de propiedades: produce leña de excelente calidad, sus rendimientos son muy altos, prospera en sitios con sequías periódicas (Pryor 1968), crece bien fuera de su lugar de origen, es muy

productivo en rotaciones cortas, el espaciamiento estrecho no detiene su crecimiento, reacciona al fertilizante mejor que las coníferas y el gran número de especies y procedencias promete grandes ganancias genéticas mediante la selección y la hibridación. Una desventaja significativa es la alta densidad de la madera de la mayoría de las especies, lo que hace que su aserrado y secado sea difícil.

Los atributos de *P. caribaea* (Lamb 1973) que hacen que sea una especie favorable para plantación incluyen la facilidad de recolectar semillas, duración de las semillas en almacenaje, facilidad de germinación, crecimiento inicial rápido, adaptabilidad a sitios degradados y a suelos superficiales, ramas finas, resistencia al viento, relativamente libre de enfermedades, amplia variación natural que permite la selección genética, facilidad de hibridación, calidad de la pulpa y calidad de la resina. Entre las desventajas se incluyen, producción baja de semillas cuando los inviernos son húmedos, no tolera las heladas, necesita ser plantada en un envase, poco competitivo con las trepadoras, presencia de madera de compresión en árboles jóvenes torcidos y debilidad del duramen en los árboles que han crecido muy rápido.

La cola de zorro en los pinos (hipertrofia terminal) es un indicador de su adaptabilidad y productividad (Kozlowski y Greathouse 1970, Lanner 1966). La cola de zorro se da en pinos que no paran de crecer, no tienen anillos ni producen brotes laterales hasta que se ha formado un tronco largo; la falta de humedad reduce el crecimiento hasta que el fenómeno acaba (Fig. 5-5). Se han registrado 12 especies que presentan este tipo de crecimiento, entre ellas, *P. caribaea*, *P. kesiya*, *P. merkusii*, *P. oocarpa* y *P. tropicalis*. En Belice, de donde *P. caribaea* es nativo, la cola de zorro ocurre en 1 a 2% de los árboles, y tiende a aumentar con la altitud y la fertilidad (Abell 1969). Según Kozlowski y Greathouse (1970), esta tendencia es fuertemente hereditaria, aunque también existe una pronunciada influencia climática. En el clima siempre húmedo de Misiones, Argentina, el 80% de los pinos presentan este crecimiento (Lanner 1972), en tanto que en Australia se ha reducido con una selección estratégica de fenotipos y progenies.

Otros géneros coníferos apropiados para los trópicos se presentan en el Apéndice G (Weck 1963).

Las especies fijadoras de nitrógeno parecen tener un comportamiento mejor en suelos pobres. Por ejemplo, una plantación de 13 años de *Casuarina equisetifolia* en



Fig. 5-5. — La cola de zorro, aunque es característica de árboles vigorosos de crecimiento rápido, generalmente se la percibe como un crecimiento anormal y los árboles son eliminados en los primeros raleos.

las dunas arenosas de las Islas de Cabo Verde (Dommergues 1963) produjo 58 kg/ha de N por año. Una plantación de *P. radiata* en Australia presentó la misma acumulación, la cual es de dos a tres veces mayor de lo que se esperaría para una especie no fijadora de N (Richards 1964). Para producir una cantidad tal de nitrógeno, se necesita un mayor estímulo a otros agentes conocidos como fijadores de N; sea cual fuera el proceso, esta característica hace que los pinos sean aún más deseables que otras especies en las zonas tropicales.

Golfari (1961, 1968a, 1981) ha descubierto que los detalles del clima son muy significativos en la determinación de la adaptabilidad de las especies coníferas en Sudamérica. Además de la temperatura media, se deben considerar los promedios mensuales, las temperaturas máximas y mínimas, la distribución de la precipitación, la humedad relativa y la iluminación. Asimismo, la textura del suelo, pH, porosidad y profundidad de la capa freática afectan la idoneidad de las especies. Golfari clasifica a las especies con base en su adaptabilidad a la precipitación del invierno y del

verano, déficit de humedad, diferencia de temperatura entre el invierno y el verano, eficiencia termal (*P. patula*, fría; *P. caribaea*, caliente) y temperatura mínima limitante (grado de resistencia a las heladas). Usa la supervivencia y la tasa de crecimiento en altura como medidas de adaptabilidad.

Golfari (1963) llegó a la conclusión de que todas las coníferas pertenecen a uno de tres grupos principales según su adaptabilidad a la distribución de la precipitación; así están las especies que requieren: 1) humedad principalmente en el invierno y son capaces de soportar sequía durante el verano, 2) humedad uniformemente distribuida a través del año, 3) humedad en el verano y capaces de soportar inviernos secos. Ya desde hace 30 años se reconocían estos tres patrones de precipitación como significativos para la vegetación (Troup 1932).

Golfari (1978a) y Golfari *et al.* (1978) afinaron las guías para la selección de los árboles a partir del comportamiento de distintas especies ya establecidas en una gran variedad de sitios. Sus conclusiones, que se dan a continuación, deberían ser de aplicación universal:

- El crecimiento inicial en altura es un buen índice de la adaptación de la especie a un sitio.
- El crecimiento uniforme de árboles individuales denota la existencia de condiciones favorables.
- La autopoda es señal de que el sitio es favorable.
- La susceptibilidad a insectos y enfermedades es mínima en sitios donde los árboles están bien adaptados.
- El déficit del agua (derivado según Thornthwaite y Hare 1955) es de gran importancia en la identificación de homoclimas.

La significancia de la precipitación en invierno y verano para la adaptabilidad de las especies es similar para los *Eucalyptus* (Pryor 1972b). Las pruebas con *Eucalyptus* en sitios diferentes a su distribución natural muestran que las especies provenientes de zonas donde la precipitación ocurre en el invierno, fracasan en zonas donde la precipitación ocurre en el verano, pero no a la inversa. Las especies del grupo de monocaliptos (un subgrupo taxonómico que incluye a los eucaliptos de

corteza desprendible en tiras, los fresnos y los mentolados), el cual incluye las principales especies de eucalipto de Australia, son menos capaces de adaptarse en otras partes que los demás. Las especies que sufren una limitación natural por el fuego se pueden extender a zonas adyacentes a su extensión natural, si se protegen contra incendios.

La productividad por unidad de área se relaciona con la forma de la copa (Ashton 1978a). Las copas de varios niveles con un solo tronco central producen más por unidad de área que las copas amplias, hemisféricas, de muchos tallos y de un sólo nivel. Este descubrimiento confirma la aseveración de Dawkins (1964a) sobre la ventaja que reporta para el crecimiento de los árboles una razón diámetro de copa/dap pequeña. Esta ventaja (que según Ashton y Dawkins es afectada por la edad del árbol) también es diferente entre especies. Dawkins (1964a) indica que todas las coníferas y los eucaliptos de alto rendimiento tienen copas pequeñas, con razones diámetro de copa/ dap de menos de 15; en el caso de *E. saligna* es menos de 10.

La preferencia por algunas especies puede deberse a características que no tienen ningún significado silvicultural. En los estados brasileños de Sao Paulo a Rio Grande do Sul, las plantaciones más recientes son coníferas, mientras que en Minas Gerais y Espírito Santo se usan principalmente eucaliptos (Golfari 1970). El estado de Sao Paulo ha sido el más densamente plantado con eucaliptos en el pasado, pero se ha descubierto que la madera es de calidad inferior a los pinos para la producción de papel debido a que es oscura y necesita más blanqueado. Además, los aserraderos en Brasil no aceptan mucha madera de *Eucalyptus*. Se espera un cambio en esta tendencia, tal como ha ocurrido en Australia (Golfari 1975b).

Actualmente, los eucaliptos y pinos son las especies más comúnmente usadas en las plantaciones de madera tropical (Evans 1992); estas dos especies juntas abarcan el 72 % de toda el área plantada (Cuadro 5-13).

Análisis del sitio antes de plantar. Numerosos ejemplos de plantaciones altamente productivas de especies madereras, nativas o exóticas, han dado resultado debido a la "suerte" (eufemismo a veces usado para caros procesos de ensayo y error), o menos comúnmente al trabajo cuidadoso de selección de especies de acuerdo con las condiciones del sitio. Generalmente, se requiere un período de pruebas extensas y prolongadas

Cuadro 5-13.—Composición de especies en plantaciones de madera tropicales

Grupo de especies	Porcentaje del área de la plantación
<i>Eucalyptus</i> spp.	38
<i>Pinus</i> spp.	34
<i>Tectona grandis</i>	14
Otras especies no coníferas	11
Otras especies coníferas	3
Total	100

Fuente: Evans 1992.

que involucran no sólo a las especies, sino también sus variedades y procedencias (fuentes de semillas) (Baur 1964a).

Aún dentro de los límites de áreas individuales de plantación, los sitios pueden variar tanto como para necesitar una variedad específica de la especie. Aún dentro de géneros grandes tales como el *Eucalyptus*, una selección cuidadosa de especies y procedencias es de naturaleza crítica. Las selecciones generalmente se basan en la distribución natural y en los correspondientes límites climáticos, o en una adaptabilidad comprobada a ambientes alterados (Cromer 1956).

Entre los resultados de ensayos de especies en gran escala se destacan las experiencias en Puerto Rico

(Wadsworth y Schubert 1977). De más de 400 especies de árboles introducidas desde 1922, sólo 25 están en uso o son promisorias para la producción de madera. Entre 1924 y 1946, se plantaron 9000 ha de terrenos forestales públicos con 131 especies de árboles, pero al final del período las plantaciones sólo tenían una densidad del 60%, incluyendo la regeneración natural aceptable. De las especies prometedoras, 17 fueron introducidas (Marrero 1948, 1950). Estos resultados indican una necesidad urgente de reconocer la naturaleza degradada de muchos de los sitios plantados, un factor que quizás esté por encima de la armonía con el clima en la selección de especies (Marrero 1950a).

Las zonas de vida según Holdridge (1967) se pueden usar para aproximaciones iniciales entre homoclimas y especies nativas pertenecientes. Un estudio que abarca el centro y norte de Sudamérica (Falla 1968), agrupó a las especies por tolerancias climáticas principales (Cuadro 5-14). Es evidente, sin embargo, que algunas especies que aparecen en el mismo grupo, no tienen una asociación natural. Esta discrepancia puede deberse a que sólo se considera la precipitación total anual y no la precipitación de la estación de lluvias.

Los sitios en que los árboles crecen más rápido quizás puedan o no ser los más productivos en términos de calidad. Un análisis de la productividad de *P. caribaea* en Queensland, Australia (Smith, W.J., 1973) indica que el crecimiento rápido estaba acompañado por una reducción en la densidad (Cuadro 5-15), una propiedad que podría ser significativa para los productos de madera sólida o láminas. Para la producción de celulosa, la

Cuadro 5-14.—Adaptación de especies de árboles tropicales por zona de vida en la región central y norte de Sudamérica

Especie	Región montana baja			Región Montana		
	Seca	Húmeda	Muy Húmeda	Húmeda	Muy Húmeda	Pluvial
<i>Acacia decurrens</i>		x	x			
<i>Cupressus lusitanica</i>		x	x	x	x	
<i>Eucalyptus globulus</i>	x					
<i>Pinus caribaea</i>		x				
<i>P. elliotii</i>		x				
<i>P. patula</i>	x	x	x			x
<i>P. radiata</i>	x			x	x	
<i>P. taeda</i>		x	x	x	x	

Fuente: Falla 1968.

Cuadro 5–15.—Efectos del sitio en la productividad de *Pinus caribaea* en Queensland, Australia

Índice del sitio ^a (m)	Volumen comercial (m ³ /ha)	Peso seco (t/ha)	Densidad básica de la madera (g/cm ³)
21–25	200	95	.473
26–30	258	121	.470
31–35	290	132	.454

Fuente: Smith, W.J. 1973.

^aAltura a los 18.5 años.

única desventaja sería que el tamaño de la madera es un poco mayor. Además, un mayor peso total seco en los sitios mejores podría compensar esta desventaja cuando el producto final es la fibra.

El carácter estacional de la precipitación es un criterio esencial en la selección de árboles para plantación en Sudamérica. En Venezuela, Veillon (1960), después de determinar la elevación de los homoclimas para los pinos, usó los patrones de precipitación mensual para determinar el emparejamiento final de especie/sitio. Golfari ha usado esta guía extensamente en la selección de especies y sitios en la provincia de Misiones en Argentina, en Brasil y en la América tropical en general (Golfari 1961, 1963, 1965, 1967, 1975c, Golfari y Barrett 1967).

Los estudios de Golfari probablemente han sido de mucho valor en la selección de especies a nivel local en el neotrópico. Con el cálculo del balance hídrico de Thornthwaite (Thornthwaite y Mather 1957), los pinos podrían ser elegidos para la región subtropical de Puerto Piray, Argentina (Golfari y Barrett 1967). Predicciones similares, usando mapas de especies por sitios, se completaron para muchos estados del Brasil (Golfari 1967). Para *P. elliottii*, Golfari (1968-69) midió 186 plantaciones para diseñar curvas del índice de los sitios, con base en la altura promedio del rodal a los 25 años de edad; se midieron variaciones de 11 a 27 m. Su técnica de balance hídrico se extendió a los eucaliptos y a las coníferas, y se usó en los estados de Bahía, Espírito Santo, Goias, Matto Grosso, Minas Gerais, Paraná, Río Grande do Sul, y Santa Catarina (Golfari 1975c, 1978a, 1978b).

La relación especie/sitio ha mejorado en forma pronunciada en los últimos años, gracias a la expansión de la literatura al respecto. Sin embargo, todavía se

justifica visitar las zonas originarias para observar a las especies en su ambiente nativo y obtener detalles no publicados sobre ellas. La visita de Navarro de Andrade (1939) a Australia resultó en un programa de plantación de árboles espectacular en Brasil. Los estudios de Loock (1950) sobre los pinos mexicanos y centroamericanos, y sus recolección de semillas para Sudáfrica contribuyeron enormemente al éxito de estas especies en África. Los viajes de Golfari (1961) a las plantaciones de pinos en el sur de EE.UU. (en busca de procedencias homoclimáticas de *P. elliottii* y *P. taeda* para Celulosa de Argentina), y a Australia y Timor (para Aracruz, Brasil) constituyen otros ejemplos sobre el valor de las observaciones personales.

La experiencia en Puerto Rico ha demostrado que la selección de especies involucra más que el apareamiento de amplias clases de climas, suelos y productos. El desempeño de una especie forestal, que aparentemente califica en todos estos campos, varía enormemente con la topografía y particularmente con el grado de degradación del suelo (Marrero 1950a). Ciertas especies crecen mejor en una topografía convexa (bien drenada) y otras en una topografía cóncava (que retiene la humedad). A medida que la plantación progresa, estas diferencias han de influenciar la selección de especies o procedencias.

La vegetación actual podría ser una clave para la selección de especies. Lamb (1968c), después de efectuar viajes a través de América, llegó a la conclusión de que los pinos son una buena propuesta a ensayar en las praderas extensas del Amazonas, Guayana, Surinam, Centroamérica, Cuba y Bahamas. Parece que las experiencias subsiguientes apoyan su conclusión. Baur (1964a) también reconoció que en la periferia de bosques pluviales degradados, los efectos de los incendios pueden hacer que el sitio sólo sea productivo para *Eucalyptus* o *Pinus*.

Una vez que las plantaciones con la misma especie alcanzan una edad avanzada, se deben desarrollar curvas de índice de sitio para clasificar a los sitios según el crecimiento de los árboles. Comenzando con las curvas derivadas de las regresiones exponenciales de la altura sobre la edad, el índice de sitio se puede determinar a partir de la edad y altura de una muestra de árboles.

Variación en una misma especie. La variación genética de una especie puede afectar la productividad tanto como la variación entre especies.

Idealmente, el proceso de selección de especies debe comparar todas las variantes de cada especie. Debido a que generalmente todas las variantes no se conocen al principio, las primeras selecciones son tentativas. La manipulación genética podría mejorar las variantes de cualquier especie; este potencial no se debería pasar por alto durante la selección inicial de las especies y, además, debería guiar el proceso después. El uso de semillas a partir de fuentes selectas y mejoradas podría aumentar las tasas de crecimiento tanto como, y aún más, que las técnicas silvícolas (Donald 1979).

Tipos de variaciones morfológicas entre ocho fuentes de teaca en Java (Coster y Eidmann 1934), incluyeron diferencias a un año de edad, las cuales varían desde un rápido crecimiento inicial en altura y ramificación hasta casi ninguna diferencia.

Al clasificar las especies de pinos en México, Martínez (1948) concluyó que además de 37 especies, había 21 variedades y 8 formas morfológicamente distintas de las especies típicas. Loock (1950) reconoció 18 variedades y 9 formas. Critchfield y Little (1966) trazaron mapas para 36 especies en México, con referencias a variedades y subespecies adicionales que no se habían registrado adecuadamente como para incluirlas en los mapas.

En la distribución natural de *P. caribaea hondurensis* en Belice, la variación intra-especie es evidente (McWilliams y Richards 1955). No sólo se distinguen dos poblaciones geográficamente distintas, una del litoral y otra de montaña, sino que en las montañas, la forma de los árboles es buena en suelos graníticos, y mala y torcida en las crestas de cuarzo y esquisto. Una comparación de tres procedencias cercanas de *P. caribaea hondurensis* demostró una amplia variación en la resistencia al viento y en la producción de crecimiento cola de zorro; esto ilustra lo importante que

es efectuar comprobaciones y selecciones cuidadosas (Evans 1992).

Los ensayos con distintas procedencias de *P. caribaea* en Monte Dourado, Brasil, no revelaron diferencias significativas a los seis años de edad, en cuanto a altura, diámetro, rectitud, bifurcado, cantidad de ramas, ángulo de las ramas, densidad de la madera, volumen del crecimiento y producción de conos (Woessner 1981a). De 16 procedencias, las cuatro mejores produjeron un 26% más biomasa que las peores. La selección de una fuente de semillas de Guanaja Istaul, Honduras, en vez de Potpun, Guatemala, garantizó un aumento en el rendimiento de 42 t/ha (Woessner 1981a); además, se redujo el crecimiento cola de zorro. Aunque este tipo de crecimiento se acentúa con una precipitación uniforme, es fuertemente inherente, pero puede ser controlado con una selección adecuada (Kozlowski y Greathouse 1970). En el caso de *Gmelina*, sería posible obtener una mejora en la rectitud del tronco y una mayor densidad de la madera mediante la selección de procedencias.

La necesidad de obtener semillas de fuentes reconocidas es ampliamente aceptada. Los ensayos de *P. kesiya*, *P. merkusii*, y *P. oocarpa* establecidos en Sudáfrica con semilla no seleccionada presentaron formas muy variables y generalmente pobres (Marsh 1972).

La selección de los plantones más grandes de una sola fuente de *P. elliotii* en un vivero del Brasil tuvo un efecto significativo en la productividad (Shimizu *et al.* 1977b). Con la selección de un plantón de nueve meses, entre los 3500 del vivero, se obtuvo un grupo de plantones que mantuvieron la superioridad en altura, en términos absolutos, durante tres años.

La variación de *P. oocarpa* permitió reconocer la variedad *ochoterenai*, la cual se ha ensayado por separado y ha mostrado un crecimiento inicial superior en Argentina (Moflino y Avaretti 1972) y en Costa de Marfil (Goudet 1975).

Se descubrieron variaciones intra-especie significativas en *P. kesiya* y *P. merkusii* en Papúa - Nueva Guinea (Howcraft y Davidson 1973a, 1973b). *Pinus merkusii* de semilla camboyana pasó por un período inicial de dormancia aparente. Los árboles de dos fuentes provenientes de Sumatra mostraron una variación tan grande en altura a los tres años, como para pensar en la necesidad de distinguir entre procedencias. A los 4,2 años, *P. kesiya* proveniente de lo que hoy es Madagascar

había crecido hasta una altura promedio de 7,6 m, en contraste con 5,2 m para los árboles provenientes de semillas de Tailandia y 6,3 m para los provenientes de Filipinas. Las diferencias en crecimiento entre las procedencias de Madagascar y Tailandia fueron altamente significativas.

Se han identificado ocho variedades regionales de *Araucaria cunninghamii* dentro del límite de distribución natural de la especie (Reilly 1974). Difieren significativamente en cuanto a tasa de crecimiento, rectitud del tronco y tendencia a desarrollar líderes múltiples; además, presentan características diferentes en cuanto a ramas, corteza y acículas.

Pryor (1978) indica algunas de las cualidades de los eucaliptos que ofrecen oportunidades para la mejora genética. Existen casi 450 especies distintas y numerosas variedades. Representan más de la mitad de la vegetación arborescente de Australia y, se encuentran también en las islas Célebes, las islas menores del Archipiélago de la Sonda, Mindanao, Papúa - Nueva Guinea y Timor. El género se reproduce principalmente mediante la hibridación cruzada al azar, y depende mucho de la polinización de los insectos.

Se descubrió que las distintas procedencias de *E. camaldulensis*, una de las especies más diseminadas de Australia, eran muy variables en los seis sitios examinados en Nigeria (Jackson 1973). Las procedencias de regiones con lluvias estivales más pronunciadas crecieron mejor durante los primeros cinco años. El promedio de los volúmenes más altos fue el triple del promedio de los volúmenes más bajos.

Los estudios con *Eucalyptus*, efectuados por Golfari (1977) en Brasil demuestran que las distintas procedencias introducidas pueden no sólo parecer, sino también actuar como especies distintas. Cita los estudios de 35 procedencias de *E. camaldulensis*, indicando que para las regiones de los cerrados de Goias, Matto Grosso y Minas Gerais, las semillas de ciertas zonas del norte de Australia producen árboles superiores a los de otras procedencias. En la región de caatinga del Río Grande del Norte, al contrario, se necesitan procedencias de otras partes de Australia donde se dan severas sequías. Solo una proveniencia —de Atherton, Queensland— produce árboles resistentes al chancro del fuste (*Diaporthe cubensis*). Se descubrió que la progenie de las plantaciones más antiguas del Brasil, que provenían del sur de Sydney (lat. 34°S), no era idónea para las lati-

tudes más tropicales del Brasil. Lamentablemente, las plantaciones antiguas de distintas especies de *Eucalyptus* en Brasil, se colocaron al lado unas de otras, dando raíz a la hibridación y a una progenie difícil de predecir.

En Aracruz, Brasil, las fuentes locales de *E. "alba"* y *E. saligna* fueron susceptibles al cancro (Evans 1992). *Eucalyptus grandis*, que en Australia aparece entre 26°S a 34°S, también fue susceptible a este patógeno. El problema se resolvió usando semillas de *E. grandis* recogidas a una latitud de 17°S en Queensland, una proveniencia que hasta ahora ha sido resistente al cancro.

En Monte Dourado, Pará, Amazonia brasileña, los resultados iniciales de pruebas de procedencias de *E. deglupta* sugirieron una ganancia genética en el crecimiento en altura de al menos un 30% (Woessner 1980a). Se han logrado éxitos al tratar de reducir la susceptibilidad del *Eucalyptus* al cancro más al sur, en Aracruz usando semillas de sitios ambientalmente similares al sitio de plantación (Campinhas e Ikemori 1977).

En 1973, los descubrimientos de Golfari condujeron a un programa ejemplar de ensayo de procedencias: se establecieron parcelas de 36 especies y 406 procedencias geográficas de *Eucalyptus* y 4 especies y 36 procedencias geográficas de *Pinus* en 46 sitios de cinco estados en la región central del Brasil (Golfari 1978b). Se están efectuando pruebas similares en Colombia con 44 procedencias de *E. grandis*, 11 de *E. viminalis*, 25 de *E. saligna* y 43 de *E. globulus*. Cada una de las parcelas está lo suficientemente aislada como para permitir que se recojan las mejores semillas, las que luego se pueden usar como fuentes de semilla mejorada.

Un ejemplo notable de variación intra-específica es *Leucaena leucocephala* (Brewbaker, 1975, Brewbaker et al. 1972, Hutton y Bonner 1960). Los rendimientos en Hawái en cuatro cosechas de dos meses, de cuatro variedades distintas, mostraron las siguientes variaciones por fuente: Hawái, 1,5 kg/ha; Guatemala, 5,5; El Salvador 6,6; y Perú, 12,6. Otra prueba también en Hawái con 90 variedades de la especie mostró una variación pronunciada en cuanto al largo del día, hábito de crecimiento, características de las hojas, largo de la vaina, pubescencia, cantidad de semillas, tamaño final del árbol y contenido de mimosina. La que se convirtió en *Leucaena* Gigante K8 Hawaiana fue una variante arbórea que florece en verano, proveniente de

Zacatecas, México, la cual mostró un vigor vegetativo excepcional y un crecimiento arbóreo agresivo con una mayor cantidad de hojas grandes y pequeñas, flores, vainas y semillas. Un espaciamiento de 1,3 m produjo árboles de esta variedad, con un dap promedio de 24 cm y 17 m de altura, a los seis años de edad.

Se ha producido una forma intermedia de *Swietenia*, aparentemente un cruce entre *S. macrophylla* y *S. mahagoni*, en muchos países tropicales donde estas especies crecen muy cerca la una de la otra. La forma del árbol es intermedia, su crecimiento en sitios secos es aparentemente más rápido que el de *S. mahagoni*, y su tolerancia a la sequía es superior a la de *S. macrophylla* (Geary *et al.* 1972).

Mejoramiento de los árboles. Hasta 1910, la silvicultura se ocupaba principalmente de las técnicas de cultivo y de tratar de favorecer lo que se pensaba eran los mejores fenotipos (Melchior 1969). Desde entonces, la aplicación de la genética —mediante la selección de procedencias, hibridación, mutación y poliploidía— ha resultado en mayores rendimientos de madera de lo que era posible con tratamientos puramente silvícolas. En los trópicos, sin embargo, el desarrollo de genotipos de especies arbóreas idóneas para plantar apenas ha comenzado, a pesar de las perspectivas de mayores ganancias con rendimientos muy superiores a los de los bosques actuales (Namkoong *et al.* 1980). Por ejemplo, la selección en masa de *Eucalyptus* en Brasil ha demostrado que es posible casi duplicar los rendimientos (Venkatesh 1976), con una expectativa de rendimientos de más de 100 m³/ha/año. Se espera una mejora genética de los pinos para lograr una forma recta de los troncos, una menor cantidad de bifurcaciones y mayores crecimientos, tanto en volumen como en valor. Una creciente tolerancia a los sitios pobres y resistencia a las plagas y enfermedades también se puede lograr con el mejoramiento de los árboles.

Burley (1969), Jones (1966), Melchior (1969) y Wright (1976) enumeran las medidas que se deben tomar para poner en marcha un proceso de mejoramiento de árboles, una vez seleccionada la especie:

1. Efectuar ensayos de procedencia.
 - a. A corto plazo: resultados antes del primer raleo, comparaciones en el campo.
 - b. A mediano plazo (a un tercio o a mitad de la rotación): crecimiento inicial, forma y calidad de la madera.

- c. A largo plazo: (a mitad o más de la rotación), pocas procedencias, fructificación, comparación de rendimientos.

2. Establecer plantaciones.
3. Seleccionar rigurosamente los fenotipos superiores en un ambiente uniforme para que los efectos no genéticos sean mínimos.
4. Identificar áreas para la producción de semillas en los mejores rodales.
5. Establecer huertos semilleros iniciales con los mejores árboles injertados.
6. Ensayar la progenie de árboles para determinar su desempeño y características de calidad de la madera que también poseen los padres.
7. Establecer huertos semilleros progresivos, seleccionados a partir del paso #6.
8. Comenzar el segundo y subsiguientes ciclos de selección y control.

Los ensayos de procedencia se efectúan para identificar lo más rápido y económicamente posible, las procedencias que garanticen bosques bien adaptados y productivos (Burley 1969). La productividad no siempre significa crecimiento rápido, sino más bien, supervivencia, resistencia a factores o plagas ambientales adversos, calidad de la madera o productividad de semillas.

Un segundo objetivo de los ensayos de procedencia es establecer rodales locales para la producción de semillas. Estos son un medio relativamente barato de obtener semillas de origen conocido y de manera casi inmediata (Squillace 1970). Los buenos rodales de árboles se seleccionan y ralean para favorecer a los mejores, aunque también se pueden usar otras prácticas de cultivo para estimular la producción de semillas. Por ejemplo, la aplicación anual del fertilizante NPK a *P. elliotii* aumentó significativamente la cosecha de conos en el sureste de EE.UU. (Shoulders 1968). La selección de árboles para semillas se debe efectuar ponderando numéricamente los rasgos deseables. Una posible ganancia genética depende del grado de variación genética en la población, de la uniformidad de las condiciones ambientales y de la intensidad de la selección.

Zobel (1972) enfatizó la necesidad de ampliar la base genética durante la selección. Indicó que no era posible preservar todos los genotipos naturales; siempre iba a haber algunas pérdidas de potencial genético en ciertas características después de la selección y cultivo. Aún 300 clones distintos quizás no sea suficientes para prevenir el deterioro a largo plazo de la producción de semillas. Sin embargo, Zobel descubrió que una selección cuidadosa de las características que se desea retener, no tendría necesariamente que disminuir la base genética. En efecto, una operación bien planeada puede significar lo contrario, juntando procedencias distantes para establecer nuevas combinaciones. Zobel llegó a la conclusión que no debe buscar clones muy específicos para cada condición, sino más bien grupos amplios de combinaciones superiores y muy adaptables. Su meta era desarrollar clones de crecimiento rápido con requisitos bajos de nutrimentos.

Los huertos semilleros son fundamentales en el avance del mejoramiento genético de árboles y deberían localizarse en buenos sitios, al abrigo de la contaminación del polen (Zobel *et al.* 1958). Para los pinos, una separación de al menos 150 m es deseable. La selección de vástagos para uso en huertos semilleros debe considerar los siguientes factores (Zobel *et al.* 1958):

- Características de madera especialmente idóneas.
- Características morfológicas y fisiológicas deseables desde el punto de vista silvícola.
- Tasas de crecimiento.
- Características deseables genéticamente (y no ambientalmente) controladas.
- Mérito genético comprobado (o al menos con ensayos de progenie en curso).

Heybroek (1978) notó algunas dificultades con los huertos semilleros. Muchas familias de árboles no producen suficientes flores machos o hembras; eso podría reducir la base genética amplia que se desea. Heybroek vio un antagonismo inherente entre la producción de semillas y el crecimiento vegetativo; así, al escoger las condiciones de clima y suelo y las prácticas culturales para el huerto, la producción de semillas en huertos de unos pocos clones debía ser minimizada. Otro peligro es la selección gradual de los

mejores clones a expensas de la diversidad; según él, esto conduciría al establecimiento de grandes extensiones de árboles con una variación genética mínima. Heybroek aporta pocos datos que comprueben grandes diferencias en la producción de clones con mucha variación genética y clones genéticamente uniformes; sin embargo, especula que la mezcla debiera producir más por las variaciones en la resistencia que permitiría afrontar la vicisitudes del clima y otros factores.

El Instituto de Dasonomía Tropical de Puerto Rico recogió dieciocho procedencias de *Swietenia* desde México a Panamá entre 1966 y 1967. Con ellas, se estableció un banco de genes y se han efectuado pruebas de adaptabilidad en Puerto Rico y en las Islas Vírgenes.

El crecimiento espectacular de *Eucalyptus* en Aracruz, Brasil, fue el resultado de cuidadosas pruebas de más de 1000 procedencias de 27 especies (Kalish 1979a). Con base en 12 criterios, incluyendo volumen sin corteza de al menos 1 m³ sólido de siete años, se logró seleccionar 1500 árboles superiores entre 20 millones de los árboles más viejos.

En 1972, había ensayos de procedencias para muchos pinos en distintos países tropicales (Wood 1972). Hasta ahora, se ha determinado que las mejores procedencias son: para *P. oocarpa*, la variedad *ochoterenai* de Honduras; para *P. merkusii*, una variedad isleña y no de tierra firme (*P. merkusiana*) y para *P. kesiya* generalmente las procedencias de Vietnam y no de Filipinas. Los ensayos con teca prometen mejores procedencias, tanto para zonas de altitud como para zonas secas.

En 1974, los ensayos de diez especies principales de árboles se coordinaban a nivel internacional (Wood 1974), y se incluían 30 procedencias de *P. caribaea*, 25 de *P. oocarpa*, 21 de *P. kesiya*, 11 de *P. merkusii* y 10 de *Cedrela odorata*. Otras especies incluidas fueron *E. deglupta*, *E. grandis* y *Tectona grandis*. Las procedencias del *P. caribaea*, recogidas y coordinadas por el Reino Unido en cooperación con la FAO, incluyeron 22 procedencias de América Central, desde Belice a Nicaragua, 7 de Cuba y 1 de la Isla Andros en Bahamas (Kemp 1973a). Poco después, bajo los mismos auspicios se recogieron 25 procedencias de *P. oocarpa* de Belice a Nicaragua. Treinta países tropicales participaron en los siguientes estudios de procedencias (Kemp 1973b).

En los países tropicales es urgente recoger germoplasma antes que sea destruido por la deforestación (Kemp 1978, Wood 1976). Algunas especies valiosas ya son escasas; por ejemplo, quedan pocas fuentes de semilla de *Taiwania* (Hung 1969). Kemp ve el panorama particularmente serio en los bosques pluviales, donde tantas especies han sido afectadas. Las reservas forestales no son una solución satisfactoria tampoco, porque es imposible que contengan todas las variantes. También, según las indicaciones de Kemp, si las reservas tienen usos múltiples, aún con una protección estable no se favorece a todas las especies.

La evaluación de los ensayos internacionales de procedencias de *P. caribaea* y *P. oocarpa* está comenzando a mostrar algunas relaciones constantes (Greaves 1980, 1981b). Los resultados de *P. caribaea* provienen de 205 evaluaciones de 113 ensayos en 26 países, y los de *P. oocarpa*, de 166 evaluaciones de 77 ensayos en 24 países. Al año de establecida la plantación, ya era evidente que existían variaciones en las procedencias de *P. oocarpa*, en cuanto a fuentes de semillas y manejo de la plantación. En *P. caribaea*, las variaciones empezaron a ser evidentes a los 3 o 4 años. Los ensayos demuestran que la variedad más vigorosa de *P. caribaea* es la *hondurensis* y la menos vigorosa, la *bahamensis*; pero *bahamensis* es la mejor y *hondurensis* la peor en cuanto a forma del fuste y de la copa y resistencia a daños producidos por las heladas. Entre las procedencias de *hondurensis*, las de tierras bajas ofrecen fustes y copas de mejor forma, mejor crecimiento y mayor resistencia al viento. Las procedencias de sitios altos y secos del interior florecen más temprano (3,5 años), presentan un menor crecimiento cola de zorro, pero producen brotes sin agujas y muerte regresiva en las tierras bajas de la región ecuatorial. A los cinco años, los árboles más vigorosos y firmes contra el viento provenían de las regiones del litoral sur de Honduras y Nicaragua, pero con una alta incidencia de colas de zorro. Para *P. oocarpa*, las colas de zorro ocurrieron sólo para las procedencias de Mountain Pine Ridge, Belice.

Numerosos ensayos independientes de procedencias se están efectuando en distintos países tropicales. En 1968, un ensayo de 12 procedencias de *A. angustifolia* se efectuó en Brasil (Baldanzi y Araujo 1971). Al tercer año, comenzaron a manifestarse distintos crecimientos en altura. De 1972 a 1976 se llevó a cabo en Nicaragua, un ensayo con 134 especies y procedencias de árboles

forestales (Evans 1977). Los resultados iniciales sugieren que varias especies podrían adaptarse a distintas regiones con distintos propósitos.

El proceso de hibridación de genotipos seleccionados es muy prometedor. Los rendimientos excepcionalmente altos de *Eucalyptus* en Aracruz, Brasil provienen en parte de la hibridación de *E. grandis* y *E. urophylla* (Kalish 1979a), un híbrido que ahora se usa en Jari también.

Árboles genéticamente mejorados realzan el atractivo de un manejo intensivo. Pero los árboles con gran potencial de crecimiento quizás sean más exigentes en cuanto al sitio al cual se pueden adaptar, que los rodales nativos menos productivos (Wollum y Davey 1975). Por consiguiente, estos avances en los rendimientos podrían aumentar el desgaste de los recursos alimenticios en los sitios y posiblemente afecten las cosechas siguientes.

Pitcher (1976) propuso un programa bien planeado para la mejora de árboles en la Amazonia. Inicialmente requería ensayos de eliminación para encontrar las mejores especies, luego ensayos de comportamiento de esas especies y por último, una nueva eliminación de las especies y procedencias más pobres. Con este programa de mejoramiento se buscaba: 1) aumentar las tasas de crecimiento, 2) mejorar la forma y la calidad y 3) determinar la capacidad de heredar las características de valor económico o útiles para mejoras genéticas en el futuro.

Pitcher favorecía la selección de árboles plus (fenotipo superior por alguna cualidad) para las pocas especies que se habían plantado en la Amazonia en extensiones de más de 50 ha, pero se manifestó en contra de cualquier intento de hacer tales selecciones en bosques nativos. Uno de sus puntos más persuasivos fue que las condiciones de crecimiento en los bosques naturales eran muy variables, creando confusión cuando se intentaba atribuir la superioridad del árbol a características genéticas. Previó que las mayores ganancias genéticas se darían en viveros, a partir de una selección masiva con intensidades de 1/1000 hasta 1/10 000. Recomendó además que las mejoras de los árboles se concentraran en unas pocas especies, como: *Carapa guianensis*, *Eucalyptus spp.*, *G. arborea*, *P. caribaea*, *Platonia insignis*, *Schefflera morototoni*, *Schizolobium amazonicum*, *Terminalia ivorensis*, y *V. surinamensis*.

Ensayos con familias de *P. taeda* de polinización abierta demostraron la superioridad en volumen de árboles seleccionados a los 20 años, con selecciones previas a los 5, 10 y 15 años (Lambeth *et al.* 1983). Una selección con base en la altura, arrojó una superioridad en volumen del 15 al 18% en el mejor tercio de los árboles; para los tres mejores árboles la superioridad en volumen fue de 58 a 64%. La selección con base en el volumen, en vez de la altura, arrojó una superioridad en volumen de 16 a 19% para el mejor tercio de los árboles y de 54 a 102% para los mejores tres árboles. Las selecciones a los cinco años de edad generalmente fueron tan efectivas como las que se efectuaron a los 15 años.

Un trabajo definitivo sobre mejoramiento de árboles es el de Zobel y Talbert (1984), aunque es de alcance mundial trata a los trópicos en forma detallada. Esta es una obra de referencia extremadamente útil para la selección de especies o procedencias y para el desarrollo de variedades mejoradas. Los conceptos desarrollados incluyen ventajas y limitaciones del mejoramiento de árboles, donde y cuando intentar una mejora y puntos esenciales en un programa de mejoramiento. Los capítulos tratan sobre procedencias, fuentes de semillas y especies exóticas; selección en rodales naturales y en plantaciones sin mejorar; selección y manejo para inducir resistencia a las enfermedades, insectos y condiciones ambientales adversas; propagación vegetativa; calidad de la madera y aspectos económicos del mejoramiento de árboles.

Progresos de las plantaciones

Informaciones de todo el mundo tropical que abarcan la historia inicial y reciente de las plantaciones forestales se presentan en el Apéndice H. Esta relación no es completa pero presenta los desarrollos significativos, primero del hemisferio oriental, donde se empezaron los primeros empeños y termina con la América tropical.

Los informes generales proporcionan algunas evidencias de las tasas relativas de plantación de árboles en distintas zonas tropicales (Anón. 1965c, 1968c, 1993b). Las que se clasificaron en 1964 como plantaciones de rápido crecimiento cubrieron 700 000 ha en Brasil y 750 000 ha entre Argentina, Chile y Uruguay; en África, 710 000 ha y 1 650 000 en el Asia y el Pacífico. Del total tropical, 25% de las plantaciones eran de especies coníferas, principalmente *A. angustifolia*, *P. patula* y *P.*

radiata. Entre las especies latifoliadas, *Eucalyptus* abarcó 1,3 millones ha y *Tectona grandis*, 1 millón ha. Las tasas de establecimiento de plantaciones de crecimiento rápido en 1965 se estimaron en 150 000 ha/año en Latinoamérica, 120 000 ha/año en el Asia y el Pacífico y 50 000 ha/año en África (Anón. 1965f).

Los incentivos para el establecimiento de plantaciones en los trópicos en 1968 incluyeron créditos, exención de impuestos, impuestos reducidos, asistencia técnica, insumos de plantación baratos y la formación de cooperativas. Entre las dificultades se cuentan un apoyo público inadecuado, departamentos forestales débiles, falta de planificación, insuficientes suministros de semillas y un conocimiento inadecuado de las especies y procedencias.

En 1990, 8,6 millones ha en el neotrópico se habían dedicado a plantaciones (Cuadro 5-16); sólo el 0,5% del área total. Casi 373 000 ha se plantan anualmente en América tropical, lo que equivale al 4% del área ya plantada. Estos datos incluyen la replantación, por lo que probablemente menos de la mitad de esta cantidad es el aumento neto de la superficie plantada.

El área de plantación se divide aproximadamente igual entre uso industrial y no industrial (campesinos que plantan árboles para madera, leña, postes y productos no madereros como palmitos y frutos de árboles forestales y la protección del suelo) (Lanly 1981; Cuadro 5-17). Se excluyen el caucho, palma aceitera, coco, árboles frutales y árboles para sombra.

La mayoría de las plantaciones industriales son coníferas, mientras que las plantaciones no industriales consisten principalmente de especies latifoliadas de rápido crecimiento. La razón de plantación en general es un octavo del área deforestada cada año (Anón. 1993b). Las áreas plantadas, conocidas y estimadas, en el neotrópico hasta 1980 se muestran en el Cuadro 5-18. Evans (1986) resume el progreso de las plantaciones forestales entre 1978 y 1985 de la siguiente forma:

- Probablemente más de 1 millón de hectáreas se plantan por año.
- La mayoría de las nuevas plantaciones son para propósitos sociales y ambientales en vez de industriales.

Cuadro 5-16.—Plantaciones forestales en los trópicos en 1990 (en miles ha)

País	Superficie del territorio nacional	Plantaciones existentes	Razón anual de plantación ^a 1980-90
Belice	2,280	3	0.1
Bolivia	108,438	40	1.4
Brasil	845,651	7,000	279.2
Colombia	103,870	180	12.7
Costa Rica	5,106	40	3.7
Cuba	10,982	350	19.3
República Dominicana	4,838	10	0.4
Ecuador	27,684	64	2.1
El Salvador	2,085	6	0.5
Guatemala	10,843	40	2.5
Guyana	19,685	12	1.1
Guayana Francesa	8,815	0	0.0
Haití	2,756	12	1.1
Honduras	11,189	4	0.4
Jamaica	1,083	21	0.8
México	190,869	155	7.5
Nicaragua	11,875	20	1.8
Panamá	7,599	9	0.5
Paraguay	39,730	13	1.0
Perú	128,000	263	12.6
Surinam	15,600	12	0.4
Trinidad/Tobago	513	18	0.2
Venezuela	88,205	362	23.8
Total América	1,650,147	8,636	373.0
África	2,236,063	3,000	129.5
Asia y el Pacífico	892,137	32,153	2,104.1
Gran Total	4,778,347	43,789	2,606.5

Fuente: Anón. 1993a.

^aPlantaciones plantadas por año.

Cuadro 5-17.—Establecimiento de plantaciones en el neotrópico hasta 1985 (en miles ha)

Propósito y especie	Superficie plantada, 1985
Industrial	
Latifoliadas	3,979
Especies de crecimiento rápido ^a	1,393
Otras ^b	183
No industrial	
Latifoliadas	3,314
Especie de crecimiento rápido ^a	2,619
Otras ^b	613
Coníferas	82
Total	7,293

Fuente: Lanly 1981.

^aIncremento medio anual superior a 12 m³/ha/año.^bIncremento medio anual inferior a 12 m³/ha/año.

- Las plantaciones en zonas áridas para forraje, leña y cercas han aumentado considerablemente.
- Se debe promover el establecimiento de nuevas plantaciones, dando énfasis a los objetivos sociales, si se desea evitar las crecientes condiciones desfavorables para la gente pobre rural.

Es claro que la tasa actual de reforestación no ha de compensar por la deforestación (Cuadro 5-19). Una tasa general de plantación de un décimo de la tasa de deforestación, puede ser adecuada para sostener los rendimientos madereros, debido a las tasas de producción más altas de las plantaciones exitosas. Sin embargo, la tasa de plantación es muy inferior al 10% de la tasa de deforestación en casi todos los países, y las plantaciones, generalmente monocultivos de especies exóticas, cualquiera que sea su potencial industrial, no alcanzan a compensar la pérdida de los ecosistemas primarios (Cuadro 5-19).

No obstante, las plantaciones forestales tropicales han aumentado rápidamente desde la década de 1940; más del 60% de las plantaciones se establecieron en la década de 1970 (Brown *et al.* 1986). El total de la biomasa de las plantaciones en aquel tiempo se estimaba entre 650 millones y 2,22 mil millones de

Cuadro 5-18.—Superficie plantada en el neotrópico por especie hasta 1980 (en miles ha)

Especie	Superficie plantada	
	Conocida	Estimada
<i>Eucalyptus saligna</i>	674	702
<i>Pinus elliottii</i>	281	281
<i>P. patula</i>	199	199
<i>E. grandis</i>	189	192
<i>P. caribaea</i>	137	337
<i>E. globulus</i>	118	131
<i>Gmelina arborea</i>	76	86
<i>Cupressus lusitanica</i>	26	48
<i>Casuarina equisetifolia</i>	20	20
Otras	93	775
Total	1,813	2,771

Fuente: Panday 1983.

toneladas y constituían una reducción del carbono atmosférico de entre 30 y 110 millones de t/año, posiblemente adecuadas para equilibrar el carbono liberado por bosques cosechados y otros usos de la tierra en la zona templada (Brown *et al.* 1986).

Cuadro 5-19.—Tasa de plantación con relación en el neotrópico entre 1980-90 (en miles ha)

País	Deforestación anual	Plantación anual de árboles
Bolivia	625	1.4
Brasil	3,680	279.2
Colombia	367	12.7
Costa Rica	50	3.7
Ecuador	238	2.1
Guatemala	81	2.5
Honduras	112	0.4
México	678	7.5
Nicaragua	124	1.8
Paraguay	402	1.0
Perú	271	12.6
Venezuela	599	23.8

Fuente: Anón. 1993c

