

Capítulo 7 Prácticas de Manejo en Plantaciones

Después de analizar el establecimiento de plantaciones forestales, en este capítulo se abarca el tema de las prácticas de manejo, diseñadas para hacer que estas plantaciones sean y se mantengan productivas. Se usa como fuente la experiencia del trópico de ambos hemisferios —experiencias que abarcan muchos sitios distintos y muchas especies distintas. No se habla mucho de la base económica de las prácticas de manejo, los detalles de la cual tienen más que ver con las condiciones locales: por esta razón, se presentan varios casos específicos en los Apéndices del G al M.

Chapman y Allan (1978), ofrecen la siguiente lista de consideraciones necesarias para la preparación del plan de manejo de una plantación maderera:

1. *Política y objetivos* — Las instrucciones que recibe el administrador del proyecto de manos de una autoridad superior sobre los objetivos que debe cumplir.
2. *Datos básicos* — Ubicación del proyecto, historia, disponibilidad y aptitud de los terrenos, instalaciones, marco institucional y personal.
3. *Manejo futuro* — Operaciones que se han de efectuar, círculos de trabajo, actividades de plantación, equipos, recursos financieros, presupuesto actual, mantenimiento, control administrativo y registros.

Evans (1992) esbozó una secuencia de decisiones y operaciones que se deben planificar (Cuadro 7-1).

La meta de las prácticas de manejo en plantaciones es aumentar el volumen o la calidad de la madera producida. El administrador, por lo tanto, debe encontrar la manera de estimar la productividad potencial y de evaluar los efectos de los tratamientos en el crecimiento. La productividad potencial se puede obtener de los cuadros de volumen y de las curvas de índice de sitio, si ya existen en la región. La evaluación de los efectos de tratamientos en el crecimiento puede ser difícil. Debido a que el crecimiento en el trópico húmedo generalmente no es específicamente estacional, el crecimiento de la mayoría de las especies de árboles se puede comprobar sólo mediante mediciones repetidas. Aún en el caso de *Pinus caribaea hondurensis*, una especie que en climas muy estacionales forma anillos anuales de crecimiento, los árboles adyacentes pueden tener crecimientos muy variables (Slee 1972).

Cuadro 7-1.—Secuencia de decisiones y operaciones en una plantación industrial

Operación silvícola usual	Decisiones principales	Producto
Obtención de semillas	¿Especies?	No aplica
Producción de plántones	¿Estación? ¿En envases? ¿Tamaño?	Plántulas Trasplantes
Preparación del suelo	¿Intensidad?	No aplica
Plantación	¿Espaciamiento? ¿Fertilización?	Árboles jóvenes
Prácticas de manejo	¿Frecuencia? ¿Métodos?	Brinzales
Poda baja	¿Necesidad? ¿Parcial?	Postes pequeños
Raleos	¿Tiempo? ¿Intensidad?	Postes grandes
Poda alta	¿Necesidad? ¿Altura?	Postes grandes
Cosecha	¿Cuándo?	Árboles maduros
Replantado	¿Cambios de especies o de manejo?	Segunda cosecha

Fuente: Evans 1992.

Un compendio del comportamiento de 129 de las mejores plantaciones de madera en Latinoamérica, clasificadas por zona de vida, se publicó en 1960 (Wadsworth 1960). La FAO más recientemente, publicó un resumen del comportamiento de las plantaciones durante la década de 1980 (Anón. 1985f), la cual sirve de guía para las prácticas de manejo de plantaciones en la región.

Al resumir los rendimientos de las plantaciones en praderas o en bosques altos tropicales, Wood (1974) concluyó que la mayor productividad se da en altitudes medias; las tierras bajas, los terrenos montañosos y los

sitios secos son menos productivos. Los árboles de crecimiento rápido pueden sostener tasas de crecimiento de 2 m de altura por año y 1 cm de diámetro a la altura del pecho. Hay bastante información publicada que comprueba la producción de 35 a 50 m³ (25 a 40 toneladas) por hectárea por año. Estos altos rendimientos están limitados en su mayoría a especies coníferas y eucaliptos.

La evaluación del desempeño de una plantación requiere árboles de tamaño promedio a distintas edades y cuadros de volumen o ecuaciones para convertir esos promedios en cantidades de producto utilizable. Un ejemplo es un juego publicado de curvas de

clasificación de sitio para la teca (*Tectona grandis*) (Fig. 7-1), con base en medidas tomadas en Colombia, Venezuela, América Central y el Caribe (Keogh 1982). La altura aquí se refiere a la "altura dominante", o sea la altura de los 100 árboles con mayor dap por hectárea. También hay curvas similares para *P. caribaea* de Indonesia, Jamaica y Surinam. Se han elaborado cuadros típicos de volumen de celulosa para *P. elliotii* y *P. taeda* en el sur del Brasil (Cuadros 7-2, 7-3).

Calidad de sitio

El desempeño de una plantación es una respuesta no sólo a las prácticas de manejo, sino también a la calidad del sitio y a un complejo de factores climáticos, edáficos

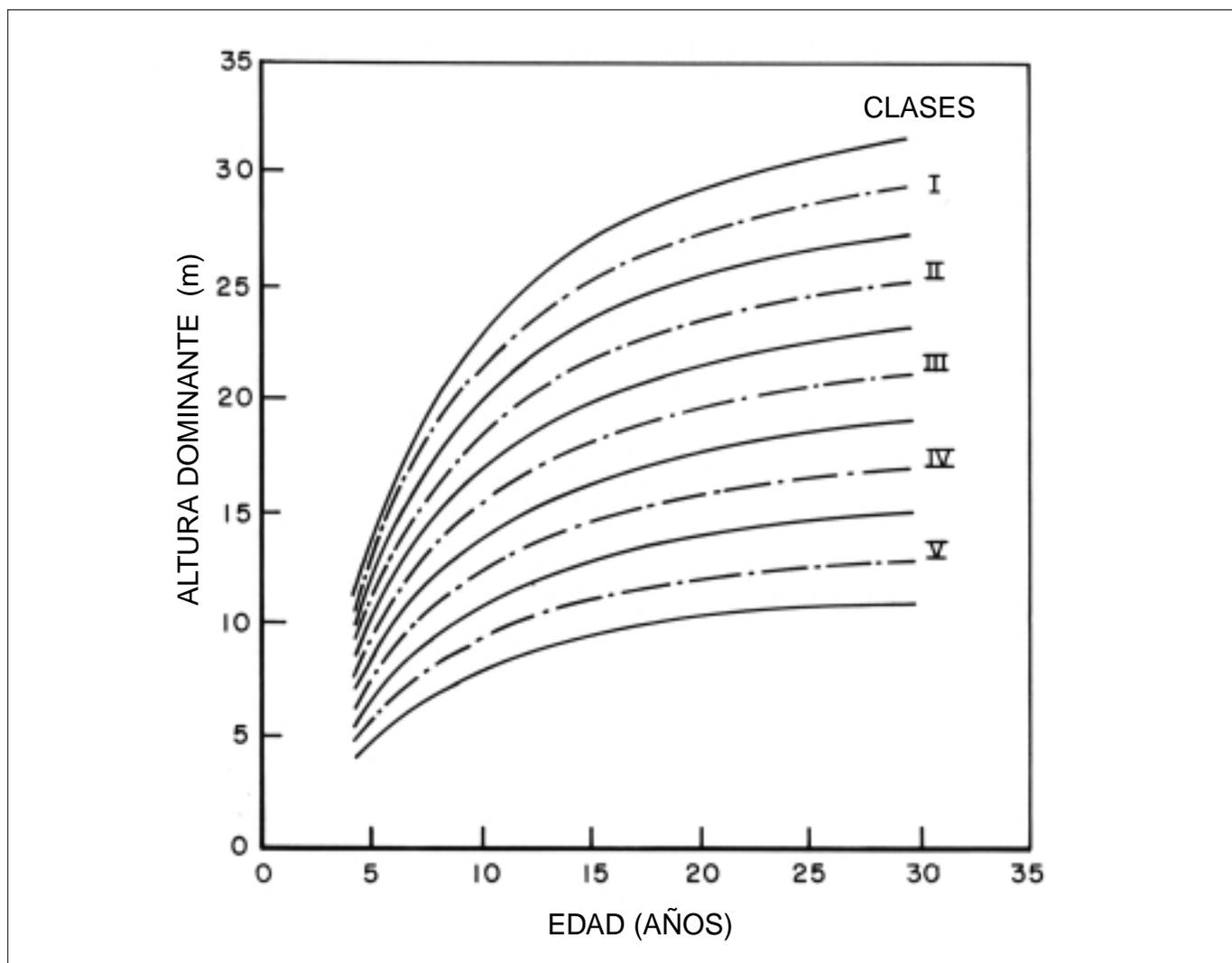


Fig. 7-1.—Clases de sitios para teca en el neotrópico (Keogh 1982).

Cuadro 7-2.—Volumen de celulosa utilizable de *Pinus elliottii* en Paraná, Brasil (m³)

Dap (cm)	Altura comercial (m)						
	8	10	12	14	16	18	20
16	0.05	0.07	0.10	0.12	0.14		
20		0.12	0.16	0.19	0.23	0.26	
24			0.23	0.27	0.32	0.36	
28				0.37	0.42	0.47	0.52
32				0.47	0.53	0.58	0.64

Fuente: Hosokawa *et al.* 1979.

Nota: Volúmenes hasta 6 cm de diámetro sin corteza.

Ecuación de regresión: $V = 0.03096d + 0.0008d^2 - 0.02435h + 0.00291dh + 0.00004d^2h + 0.25225$,
donde V = volumen, d = diámetro en centímetros, h = altura en metros.

y bióticos. La calidad del sitio quizás sea influenciada por las prácticas de manejo hasta cierto punto, pero el administrador debe reconocer las limitaciones. La identificación de sitios favorables y desfavorables para la mayoría de las especies de árboles no es un problema: en un extremo, el árbol ni siquiera logra sobrevivir, mientras que en el otro, alcanza su tasa máxima de crecimiento (Figs, 7-2, 7-3).

La teca tiene una clara relación sitio - crecimiento, según se ve en los datos de rendimiento provenientes de Java (cuadro 7-4). Los árboles en el sitio V eran dos veces más altos que los del sitio II y su productividad era casi tres veces mayor. Los sitios pobres inciden directamente en la producción en volumen; además, los efectos del sitio son acumulativos y aumentan con el pasar del tiempo.

Se descubrió una gran variación en la productividad de *Eucalyptus globulus* entre sitios clasificados en Madras, India (Cuadro 7-5). En El Salvador, la especie también reacciona al sitio (Burgers 1960); la productividad es severamente afectada, y el primer rebrote, que en sitios buenos es al menos tan productivo como el cultivo establecido con plantones, tiende a quedarse atrás en un sitio pobre (Cuadro 7-6).

Pinus caribaea reacciona mucho a la calidad del sitio en Surinam (Vincent 1970). Los rendimientos esperados a la edad de 30 años, con base en el crecimiento inicial, se muestran en el Cuadro 7-7. En Surinam, la clasificación I consiste de un suelo méxico, con suelos francos y arenosos en laderas leves inferiores bien drenadas, cerca de los arroyos. El sitio III se sitúa a medio camino entre los arroyos y las tierras altas, y presenta suelos franco-

Cuadro 7-3.—Volumen de celulosa utilizable de *Pinus taeda* en Paraná, Brasil (m³)

Dap (cm)	Altura comercial (m)						
	8	10	12	14	16	18	20
16	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14		
20		0.14	0.17	0.20	0.23	0.26	
24			0.26	0.30	0.35	0.39	
28				0.39	0.45	0.50	0.56
32				0.51	0.58	0.64	0.70

Fuente: Hosokawa *et al.* 1979.

Nota: Volúmenes hasta 6 cm de diámetro sin corteza.

Ecuación de regresión: $V = -0.0140 + 0.0003d^2 - 0.0159h + 0.017dh - 0.000000009d^2h + 0.12766$,
donde V = volumen, d = diámetro en centímetros, h = altura en metros.



Fig. 7-2.— Cuando se ignoran las calidades del sitio, como la profundidad del suelo o el nivel de humedad, es posible producir árboles mal formados, como lo ilustra esta *Gmelina arborea* en Perú.

arenosos. El sitio V consiste de sabanas en tierras altas xéricas en suelos blancos de arena gruesa. La misma especie (*P. caribaea*), bajo condiciones premontanas húmedas en Costa Rica, entre 600 y 1000 msnm y una precipitación anual de 220 cm, produjo rendimientos de 45 m³/ha/año de madera sin corteza en 16 sitios (Salazar 1976).

P. caribaea en el sur de Queensland, Australia, da una buena ilustración de los volúmenes mucho más bajos



Fig. 7-3.— Un buen sitio produce árboles de buena forma y crecimiento rápido, según lo ilustran estos árboles de un año de edad de *Paulownia tomentosa* en Filipinas.

Cuadro 7-4.—Rendimientos de teca (*Tectona grandis*) por calidad de sitio en Java

Clase de calidad de sitio ^a	Altura de los 100 árboles más grandes por hectárea (m)		Incremento medio anual, incluyendo raleos (m ³ /ha/año)	
	30 años	80 años	30 años	80 años
II	16	21	3.9	2.9
III	20	27	5.4	4.0
IV	25	33	7.6	5.8
V	29	39	10.5	8.1

Fuente: Alphen de Veer 1958b.

^aLas clases se definen localmente con base en la altura del árbol a una edad dada.

producidos en plantaciones jóvenes en sitios relativamente pobres (Anón. 1972b). A los ocho años, el volumen de la plantación del sitio 90 fue sólo el 22% del volumen del sitio 110 (Cuadro 7-8); a los 20 años, el volumen alcanzado por la primera era del 62%. El crecimiento anual también culmina más tarde en el sitio más pobre.

Mejoras en la calidad de sitio en plantaciones. La calidad del sitio y la productividad de las plantaciones se pueden mejorar. Tales mejoras son particularmente pronunciadas en suelos degradados por el cultivo, pastoreo o incendios. La hojarasca bajo una plantación de teca pura de diez años de edad en África occidental, se descompuso en seis meses durante la estación seca y en un mes durante la estación lluviosa (Egunjobi 1974). Se determinaron aumentos significativos de materia orgánica en la superficie terrestre de las plantaciones de teca de sólo cuatro años de edad en Tailandia (Wasan y Bunwong 1975). Al decimoquinto año, también había aumentado el pH, la capacidad de intercambio catiónico, fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Sin embargo, no eran estadísticamente significativos, aún cuando la calidad del sitio había mejorado.

Estudios en 23 sitios plantados con *P. ponderosa* en EE.UU. han demostrado que el aumento del nitrógeno (N) -uno de los componentes de la materia orgánica- en el suelo se traducen en incrementos en la altura del árbol (Zinke 1960). De hecho, se llegó a la conclusión que la altura del árbol es un índice de la cantidad total de N en el suelo, y que el N disponible tendría una

Cuadro 7-5.—Efectos del sitio en la productividad del *Eucalyptus globulus* en Madras, India

Edad (años)	Dap medio (cm)		Altura media (m)		Incremento anual (m ³ /ha/año)	
	Sitio I ^a	Sitio III	Sitio I	Sitio III	Sitio I	Sitio III
5	21.0	12.1	21.9	11.3	10.6	5.0
10	31.5	21.0	31.4	15.8	11.3	5.2
15	39.6	25.9	37.8	24.4	10.4	5.0
20	46.1	29.9	41.8	28.0	9.9	4.6

Fuente: Krishnaswamy 1957b.

^aLas clases de sitios se definen localmente con base en la altura del árbol a una edad dada.

relación aún más fuerte. Por consiguiente, el desarrollo de una plantación que logre aumentar el N del suelo debería mejorar al sitio.

Los cambios en la calidad del sitio provocados por las plantaciones no se entienden completamente. El fenómeno común, de un rodal de rebrotes que produce más que la plantación original, sugiere una mejora en el sitio. En Kenia, por ejemplo, en un rodal de primeros rebrotes de *E. grandis* a la edad de rotación, el 20% de los fustes tenían más de 15 cm dap, en comparación con sólo el 4% de los árboles de la plantación original (Howland y Freeman 1970). Una proporción desconocida, pero probablemente significativa de este aumento, se debe no a la mejora del sitio, sino al sistema radicular heredado por los rebrotes.

Deterioro del sitio en plantaciones. A menos que se tomen medidas de compensación, la productividad del sitio ha de declinar tarde o temprano en sitios donde se está cosechando madera. Algunos indicios de estas pérdidas se ven en la biomasa sobre el suelo de plantaciones de *P. radiata* en África del Sur (Cuadro 7-9).

El problema de plantar teca pura, debatido en la India entre 1930 y 1950, reflejó la preocupación que se sentía por la extracción repetida y la remoción de nutrientes de sitios que eran marginales desde el principio. El deterioro de suelos lateríticos en la India, causados por la tala rasa de la teca y la quema posterior, es capaz de provocar cambios en sitios que al comienzo eran muy aptos para la teca, pero que luego se deterioraron hasta llegar a ser absolutamente inadecuados para ese cultivo (Davis 1940). Aún los buenos sitios para teca que habían sido el sostén de los árboles más altos resultaron peores para el próximo cultivo.

Se ha documentado bien el deterioro del sitio durante la vida de las plantaciones de teca a espaciamientos estrechos y sujetas a quemas repetidas de la hojarasca (Bell 1973). En Trinidad, una plantación de 11 años de edad, con un espaciamiento de 2 m x 2 m, quemada repetidamente y sin maleza se comparó con un bosque natural. La plantación presentó un escurrimiento de agua que sobrepasaba en un 25% por unidad de precipitación a la del bosque natural; la pérdida del suelo (debida a la erosión) fue ocho veces mayor por unidad de área

Cuadro 7-6.—Efectos del sitio en la productividad de *Eucalyptus globulus* de ocho años en El Salvador

Clase ^a de sitio	Altura media (m)		Rendimiento (m ³ /ha/año)	
	Plantón	Retoño	Plantón	Retoño
I	18	21	9.8	9.8
III	16	17	5.2	5.5
V	14	13	2.8	1.1

Fuente: Burgers 1960.

^aLas clases se definen localmente con base en la altura del árbol a una edad dada.

Cuadro 7-7.—Desempeño de *Pinus caribaea* a la edad de 30 años en Surinam por clase de sitio

Clase ^a de sitio	Incremento medio anual (m ³)		
	Madera de aserrío	Pulpa	Total
I	10.2	5.5	15.7
III	8.4	4.6	13.0
V	0.0	3.3	3.3

Fuente: Vincent 1970.

^aLas clases se definen localmente con base en la altura del árbol a una edad dada.

terrestre en la plantación (5,6 t/ha en comparación con 0,7 t/ha). Se vio con claridad que para mantener la productividad del sitio se debía reducir la tasa de erosión al equivalente de la tasa de ingreso de nutrientes.

Recientemente se han expresado inquietudes debido a la declinación esperada de la productividad en sitios plantados con pinos; en especial, las plantaciones puras de *P. radiata* en Australia. Una revisión inicial de las posibles causas (Florence 1967) amerita ser mencionada. El estudio indicó que bajo una mezcla de especies, el suelo forestal desarrolla propiedades que varían con las especies de árboles del sotobosque. Existe una gran variación en la composición química de la hojarasca y la naturaleza y tasa de descomposición. La productividad puede depender, en parte, de que una especie única acumule un nutriente, que de otro modo podría ser limitado. El hecho de que los suelos bajo robledales

(*Quercus* spp.) tienen una capacidad de suministrar nutrientes mayor que la de los suelos bajo pinos, sugiere que la productividad de estos últimos podría aumentar en la presencia de otras especies.

Florence (1967) indicó, además, que el contenido de N en el suelo bajo una mezcla de pinos con especies no coníferas es mucho mayor que en rodales puros de una u otra especie. En conclusión, el exceso de N puede deberse a un ambiente más apropiado para la actividad de microbios; según Tarrant (1961), citado por Florence, las plantaciones de *Pseudotsuga menziesii* en el noroeste de EE.UU., intercaladas con *Alnus rubra*, aumentaron en buena medida el total de N en el suelo y en el follaje. Las plantaciones de pinos en Nigeria no han cambiado la condición física del suelo, pero han aumentado la materia orgánica en la superficie y reducido en las capas más profundas del suelo (Iyamabo 1970). El nivel de N en el suelo debajo de los pinos tuvo un promedio 24% menor que en los sitios sin pinos. Florence (1967) también notó que una cantidad de especies madereras introducidas que han tenido éxito, poseen atributos que neutralizan las desventajas del sitio y mejoran sus propiedades.

Una disminución aparente de la productividad de *Pinus radiata* en el sur de Australia se ha evidenciado en la reducción del área basal (Bednall 1968). Plantaciones repetidas en un mismo sitio arrojaron áreas basales de 20 m²/ha, en comparación con 29 m²/ha a los 15 años. Bednall determinó que ninguno de los factores sugeridos estaban conclusivamente vinculados con la disminución; esos factores incluían: el régimen de suelo y agua, el

Cuadro 7-8.—Efectos del sitio sobre *Pinus caribaea* en Queensland, Australia

Adad (años)	Volumen en pie (m ³ /ha)		Incremento anual actual (m ³ /ha/año)	
	Sitio 90 ^a	Sitio 110	Sitio 90	Sitio 110
8	17	76	— ^b	— ^b
10	40	117	11.8	20.7
12	75	172	17.5	27.3
14	123	234	23.9	30.9
16	175	293	25.9	29.8
18	214	343	19.3	24.8
20	241	386	13.7	21.4

Fuente: Anón. 1972a.

^aLas clases se definen localmente con base en la altura del árbol a una edad dada.

^bInsignificante

Cuadro 7-9.—Biomasa aérea en una plantación de *Pinus radiata* de 40 años en África del Sur

Dap (cm)	Biomasa secada al horno por árbol							
	Fuste		Corteza		Ramas		Agujas	
	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
30	344	87	36	9	7	2	7	2
60	1,499	81	168	9	138	8	35	2

Fuente: van Laar 1982.

tipo de suelo, la corta y quema, el intervalo entre tala y replantado y la preparación del sitio. Sugirió que los siguientes factores merecen estudio, como posibles causas de la disminución: agotamiento de los nutrientes, agotamiento del suministro de agua, residuos tóxicos del primer cultivo, reducción del estándar genético y cambios en las prácticas de establecimiento debido a la existencia de tocones residuales.

Hatch y Mitchell (1972) sugirieron que la pérdida de N como resultado de los raleos quizás haya disminuido el crecimiento de las cosechas subsiguientes de *P. radiata*. Este estudio descubrió que sólo el raleo repetido podía eliminar hasta 470 kg/ha de N, durante una rotación típica de pinos.

También se ha registrado en Nueva Zelanda, una disminución de la productividad en plantaciones de *P. radiata* de segunda rotación (Whyte 1973). Allí, unas pocas zonas registraron declinaciones pronunciadas en cuanto a la altura, área basal e incremento volumétrico; declinaciones menores en la mayoría de las otras zonas, y totalmente inexistentes en otras. Una complicación fue que las comparaciones se tenían que hacer entre plantaciones muy próximas, pero no precisamente en el mismo sitio. Algunas declinaciones parecieron ser permanentes, pero la mayoría fueron transitorias, limitadas a períodos entre los primeros cinco a ocho años de la segunda cosecha.

Whyte (1973) concluyó que la disminución era lo suficiente como para extender la rotación dos años más para que los árboles alcanzaran la altura de la primera cosecha; ocho años más para que alcanzaran la misma área basal, y cinco años más para que alcanzaran el mismo volumen. Advirtió que la disminución de la productividad fue particularmente notable en las crestas de lomas y en las laderas superiores, mientras que en el

fondo de los valles, la segunda cosecha a menudo era mejor que la primera. Recomendó acortar el período de regeneración e impedir la erosión laminar en las crestas de lomas y en laderas.

Chaffey (1973) indicó lo complejo que es probar una disminución de la productividad, por lo que recomendó establecer parcelas de largo plazo y análisis detallados del fuste. Supuso que con certeza casi absoluta, no hay una sola causa. Los factores abióticos y los cambios químicos y físicos del suelo pueden ser cíclicos; las fluctuaciones climáticas son difíciles de evaluar; en las investigaciones del suelo no se puede ignorar el papel que juega el componente vivo del suelo en descomposición; los antagonismos de las micorrizas pueden ser responsables en algunos casos.

Un estudio de los residuos de la tala en plantaciones de *P. radiata* en el sureste de Victoria, Australia, sugiere una fuente importante de deterioro del sitio (Flinn *et al.* 1979). El residuo en la superficie después de la tala era de 769 t/ha, pero la quema para preparar el suelo para un nuevo sembrado consumía el 84% de la materia seca. Otras pérdidas fueron: 72% del N, 27% del P, 21% del K, 31% del Ca, 16% del Mg, 40% del sulfuro (S), 30% del hierro (Fe) y 34% del manganeso (Mn). Bajo estas circunstancias, se recomendó que no se efectuaran más quemas.

Evans (1978) revisó la disminución de la productividad en la segunda rotación en 53 pares de parcelas en un mismo sitio de Suazilandia. Los resultados de plantaciones de 14 años aparecen en el Cuadro 7-10. Evans creía que el clima era la causa principal de la disminución. El mal clima prevaleció durante la segunda rotación; particularmente, estaciones de lluvias más cortas durante los últimos tres años. En consecuencia, los efectos del clima oscurecieron (y probablemente sobrepasaron) a las demás tendencias del sitio. El incre

Cuadro 7–10.—Productividad comparada de la primera y segunda rotación de *Pinus patula* de 14 años en Suazilandia

Item	Altura media (m)	Volumen medio por árbol (m ³)	Volumen por hectárea (m ³ /ha/año)	IMA ^a
Rotación				
Primera	18.1	0.243	299	21.4
Segunda	17.5	0.226	276	19.8
Porcentaje de declinación	3.4	6.9	7.6	7.5

Fuente: Evans 1978.

Nota: Significativo al 5%

^aIncremento medio anual.

mento volumétrico inicial de la segunda rotación fue mejor que en la primera, entre los cinco y seis años, por un margen entre 10 y 25%; pero a los 14 años había declinado hasta un 7% menos que la primera rotación. Evans sugirió que esa reducción cada vez más fuerte no se debía al clima, y aunque concluyó que no había razones para alarmarse ni complacerse, era urgente recabar más información.

En una revisión posterior, Evans (1980) concluyó que las evidencias todavía no eran adecuadas para comprobar la disminución en los rendimientos de las plantaciones bajo monocultivo. Mencionó la existencia de factores complejos, como el mejoramiento genético y el manejo de cada rotación, el uso de rebrotes en vez de plantones y la mortalidad acumulativa en cosechas sucesivas de rebrotes. Consideró que los resultados de *P. radiata* se habían confundido con las mejoras en las prácticas de manejo; tampoco encontró evidencias de disminución de los rendimientos de *P. elliotii* en África oriental, donde las semillas se recogían de los mismos árboles padres. Concluyó, sin embargo, que aún se podrían encontrar tendencias relacionadas con variaciones climáticas, mejoramiento genético, efectos de plantación directa o prácticas silvícolas, como raleo, arrastre de troncos, eliminación de desechos, quema y fertilización.

La disminución de la productividad a causa de cosechas forestales repetidas debe causar inquietud. La pérdida neta de nutrientes es inevitable, y tarde o temprano se deberán efectuar compensaciones, si no se quiere que la productividad decline. Los estudios del suelo por sí solos no toman en cuenta adecuadamente las tendencias significativas, porque gran parte del suministro de nutrientes se halla en la biomasa (Fearnside y Rankin 1980).

Los estudios de Chijioke (1980) sobre el contenido de nutrimentos en plantaciones de *Gmelina arborea* (ocho parcelas) y de *P. caribaea* (cuatro parcelas) arrojaron luz sobre los efectos de la cosecha de las plantaciones en la calidad del sitio. Para ambas especies (Cuadros 7-11; 7-12), la madera del fuste tenía el porcentaje más bajo de nutrimentos, pero cuando se combinaba con la corteza, contenía más de la mitad de los nutrimentos existentes sobre la superficie del suelo. La extracción del árbol entero causó una pérdida de más del 25% de los nutrimentos, en comparación con dejar los desechos en el sitio. Si se hubiera dejado la corteza, se habría ahorrado entre un 5 y 10% más.

Los estudios de Chijioke no proporcionaron evidencias de que los monocultivos por sí solos agotan las reservas de nutrimentos del suelo más rápidamente que las plantaciones mixtas, siempre que todos los demás parámetros sigan siendo iguales. El agotamiento rápido de los nutrimentos, sin embargo, está claramente asociado con el crecimiento rápido, rotaciones cortas y extracción total.

Chijioke concluyó que los nutrimentos inmovilizados dependen más que todo de la edad de aprovechamiento. Por ejemplo, árboles de *G. arborea* de 13 a 15 años de edad tenían sólo entre 6 y 9% más nutrimentos inmovilizados que los árboles de 5 a 6 años de edad, y sin embargo, la biomasa era de 25 a 66% mayor. La producción de cinco cosechas de 5-6 años de edad de *G. arborea* durante un período de 30 años sería dos veces más exigente que la producción de dos cosechas de 13 a 15 años de edad durante el mismo período.

De acuerdo con Chijioke, cualquier disminución del crecimiento arbóreo en rotaciones posteriores en los

Cuadro 7-11.—Niveles de nutrimentos en plantaciones de *Gmelina* de seis años de edad en Nigeria y Brasil

Índice	Nutrimentos principales				
	N	P	K	Ca	Mg
	Kilogramos por hectárea				
Contenido de nutrimentos					
Sobre la superficie (viviente)	128–352	22–63	93–208	42–185	39–79
Tronco y corteza	90–182	14–38	71–136	34–108	31–51
	Porcentaje				
Peso seco					
Sobre la superficie	3.49	0.35	2.55	1.64	0.83
Tronco y corteza	0.71	0.08	0.96	0.86	0.25

Fuente: Chijioko 1980.

N = Nitrógeno. K = Potasio. Mg = Magnesio. P = Fósforo. Ca = Calcio.

suelos de los trópicos muy probablemente se debe a que el suelo no es capaz de convertir los nutrimentos no disponibles en disponibles, para cubrir las exigencias del árbol, o a que la mineralización es demasiado lenta. En ningún momento vio la disminución como consecuencia de la ausencia de nutrimentos esenciales. En las plantaciones de pinos no encontró evidencias de que la disminución del crecimiento en rotaciones posteriores se debiera a pérdidas de nutrimentos en el suelo a causa de las cosechas; más bien la falta de humedad en el suelo sí podría ser un factor limitante. Recomendó que: 1) se dejaran los desechos en el sitio; 2) no se efectuaran quemas; 3) se efectuara un monitoreo continuo de los

nutrimentos en el suelo; 4) se efectuaran ensayos de fertilización en suelos marginales.

Relaciones genéticas

Los administradores de plantaciones forestales deben reconocer que este es un cultivo muy variable, no sólo entre sitios y entre especies, sino aún entre árboles. Las especies arbóreas se diferencian por procedencias. Las especies de distribución amplia generalmente son menos uniformes que las de distribución restringida (Lines 1968). La responsabilidad del manejo es aprovechar estas variaciones para mejorar los cultivos futuros.

Cuadro 7-12.—Niveles de nutrimentos en plantaciones de *Pinus caribaea* de seis años en Surinam y Brasil

Índice	Nutrimentos principales				
	N	P	K	Ca	Mg
	Kilogramos por hectárea				
Contenido de nutrimentos					
Sobre la superficie (viviente)	197	33	46	78	25
Tronco y corteza	99	21	31	25	17
	Porcentaje				
Peso seco					
Sobre la superficie	1.93	0.13	0.60	1.05	0.28
Tronco y corteza	0.37	0.03	0.17	0.22	0.08

Fuente: Chijioko 1980.

N = Nitrógeno. K = Potasio. Mg = Magnesio. P = Fósforo. Ca = Calcio.

La manipulación genética llamada “mejoramiento del árbol” tiene mucho que ofrecer al encargado de la plantación. El potencial genético de las poblaciones arbóreas varía tan extensamente, que el mejoramiento a menudo produce árboles con características que no se encuentran en la naturaleza (Zobel 1972). La mejora de los árboles puede resultar no sólo en rendimientos más altos, sino también en que los árboles se adapten más a sitios marginales y sean más resistentes a plagas y enfermedades. Una vez mejorada la constitución genética de los árboles no es necesario repetir la manipulación genética, pero con más manipulaciones quizás se obtengan mayores ganancias.

Naturaleza de la variación genética. Aparentemente, la forma del árbol es una característica más heredable que la capacidad de crecimiento. Estudios con *Cupressus lusitanica* en Kenia (Dyson 1966) demostraron que el tamaño del árbol era un criterio muy pobre para la selección de árboles de cultivo. Un estudio de 11 procedencias de *Tectona grandis* en Tanzania demostró que la rectitud del fuste y la altura del árbol a los cinco años se relacionaban con la procedencia, mientras que el dap no (Person 1971). Si las primeras semillas de teca que se plantaron en Trinidad hubieran venido de Travancore, India, en vez de Tenassarim (Myanmar, hoy en día), la especie quizás se hubiera considerado un fracaso por su mala forma, gran ramificación y crecimiento lento (Beard 1948). Los árboles de *Gmelina arborea* del África occidental (en sitios como Enugu, Nigeria) tienen mejor forma que los de otros sitios (Anón. 1959d). A los cuatro años, ensayos de 22 procedencias de *Swietenia macrophylla* y *S. humilis* en Puerto Rico establecieron diferencias entre las distintas procedencias (Geary 1969).

Un estudio ingenioso con teca en Nigeria demostró lo inapropiado que es seleccionar árboles padres sólo por su vigor aparente (Wyatt-Smith y Lowe 1972). Se seleccionaron 34 pares de árboles dominantes y suprimidos en una plantación no raleada de 14 años. Los árboles dominantes tenían un dap promedio de 23,8 cm; los suprimidos, 13,6 cm. Todos fueron injertados, y se comparó el crecimiento en altura al cabo de un año. Después de eliminar las variaciones en vigor y mortalidad, no se encontraron diferencias significativas en la altura de los clones.

Wyatt-Smith y Lowe concluyeron que la capacidad de heredar el vigor es baja, y si no se puede demostrar en el material vegetativo, es aún menos demostrable en la

progenie. Concluyeron, además, que el vigor aparente no es un indicador efectivo de un genotipo superior, porque las influencias ambientales casi siempre logran sobrepasar a los rasgos hereditarios.

Esta baja capacidad para heredar el vigor aparente tiene implicaciones importantes (Wyatt-Smith y Lowe 1972). Si el ambiente es casi de total importancia en la determinación del crecimiento de un árbol, los expertos deben poder elegir y cultivar árboles que se tornarán dominantes, sin miedo a un deterioro disgénico del rodal. La cosecha de los árboles aparentemente “mejores” en un rodal natural, sin embargo, no debe dejar árboles suprimidos genéticamente inferiores.

Un estudio en la India (Champion 1930) probó que, aparte del vigor aparente, los árboles pueden heredar otras características, al comprobar que el fuste retorcido de la teca no depende del suelo ni del tratamiento (Cuadro 7-13).

La ocurrencia de líderes sin ramas (cola de zorro) en los pinos de los trópicos se debe en parte, al clima y otras consideraciones del sitio, pero también a factores genéticos (Anón. 1960b). Bajo condiciones favorables, *P. merkusii* en Indonesia produjo este tipo de crecimiento entre el 0 y el 30% de los casos, debido a características del suelo (Hamzah y Natawiria 1974). En Malasia, Greathouse (1973) descubrió que la ocurrencia de cola de zorro en *P. caribaea* variaba del 30% en un buen sitio, a 47% en un sitio pobre. Sin embargo, el carácter

Cuadro 7-13.—Torceduras en la progenie de teca en relación con la fuente de semillas en India

Fuente de semillas		Progenie con torcedura máxima de 7°+ (%)
Árbol pariente	Árboles vecinos	
Importado		
Derecho	Derechos	1
Local		
Derecho	Derechos	25
Derecho	Torcidos	36
Torcido	Derechos	59
Torcido	Torcidos	65

Fuente: Champion 1930.

Nota: Regeneración natural de árboles torcidos en el bosque = 72.

heredable de esta característica en *P. caribaea* es suficiente como para que se evite su selección (Ledig y Whitmore 1981). Además, los árboles que la heredan, producen más bifurcaciones y ramas de mayores diámetros.

Generalmente, los árboles con cola de zorro se consideran inferiores y se los ralea. Sus ramas grandes, ampliamente espaciadas en forma de espiral los hacen susceptibles al daño causado por el viento. Sin embargo, en un estudio con *P. caribaea* en Malasia, los árboles con colas de 2,15 m o más, eran más altos que los árboles normales a los seis años en buenos sitios (Greathouse 1973). Lo contrario sucedía en los sitios pobres.

Una observación común en los ensayos de procedencias es que existen variaciones en el momento de la aparición del follaje, las cuales supuestamente reflejan las diferencias climáticas del sitio de origen. Un ensayo en Nigeria con *Cedrela* proveniente de Argentina, Belice, Brasil, Costa Rica, Cuba, Jamaica, México y Puerto Rico demostró que en verdad estas variaciones existen. Se formuló, por lo tanto, la hipótesis de que quizás estas variaciones afectan la tasa de crecimiento, debido a las ganancias por la correlación entre aparición del follaje y período de lluvias en la zona donde la especie se ha introducido (Omogiola 1972).

Las semillas recolectadas en plantaciones locales exitosas pueden producir mejores resultados que la primera generación de semillas importadas. La identificación de las mejores fuentes de semilla local debe ser, entonces, una prioridad para el administrador de la plantación. La gran variabilidad observada en Zambia sugirió la posibilidad de que la fertilización provoque distintas reacciones en eucaliptos individuales (Hans y Burley 1972).

No es raro ver híbridos de especies creciendo juntos en plantaciones, particularmente de *Eucalyptus*. Algunos híbridos muestran un vigor superior al de ambos padres, pero la variabilidad de todas las características es un resultado frecuente, que se acentúa en las generaciones posteriores (Hans 1974). Las características fuertemente heredadas de *Eucalyptus* incluyen: la tasa de crecimiento (a diferencia de la teca), según Wyatt-Smith y Lowe (1972); el carácter de la madera, según Pryor (1956), la resistencia a gran cantidad de insectos defoliadores en su país de origen. En Australia, muchas especies de *Eucalyptus* abarcan grandes extensiones, pero ocurren en pequeños grupos aislados, dando raíz a híbridos dentro

del grupo (pero con toda probabilidad no entre los distintos grupos). Esto sugiere una fuente de diversidad que vale la pena investigar (Pryor 1956).

Las variaciones en las propiedades de la madera y las posibilidades de mejoramiento genético comúnmente se dan por supuestas, o se espera que resulten de la mejora de otras propiedades, como la forma del árbol. Aunque el aumento del volumen de producción es generalmente más importante que la mejora de la calidad de la madera, ambos aspectos se pueden manipular en forma independiente, por lo que se pueden mejorar al mismo tiempo (Zobel y Kelliston 1973). Por ejemplo, la gravedad específica y el grosor de la pared de las células traqueidas de la madera madura (células no perforadas) son importantes para el rendimiento de la madera y la calidad de la pulpa y fabricación de papel. Ambas características son suficientemente heredables como para permitir ganancias económicas importantes con la manipulación genética. En *P. caribaea*, la gravedad específica se puede aumentar entre 50 y 80 kg/m³ mediante la manipulación (Zobel y Kelliston 1973).

Cuando *S. macrophylla* y *S. mahagoni* se hacen crecer juntas, como lo hacen en Cuba y en Puerto Rico, se desarrolla una forma intermedia que constituye un híbrido, que produce a la vez, una generación F2 con las especies segregadas de *S. mahagoni* y *S. macrophylla* y un híbrido F1 (Marquetti et al. 1975). La forma intermedia se considera superior a las otras en ciertos sitios secos (Briscoe y Nobles 1966). La variación natural de la madera de *S. macrophylla* en Bolivia resultó en que se reconocieran cuatro distintas razas con una gama de gravedades específicas que variaba del 0,55 al 0,71 (Irmay 1949).

Los siguientes ejemplos demuestran la gran variabilidad del género *Prosopis*; todas son especies estrechamente relacionadas, *P. chilensis*, *P. chilensis glandulosa*, *P. glandulosa* y *P. juliflora* (Magini y Tulstrup 1955). De estas, las especies que provienen de las zonas áridas son útiles bajo condiciones muy secas; las de México son resistentes a las heladas; las de Argentina producen el mejor forraje; las de Perú requieren buen drenaje, y las de Argentina son las mejores en plantaciones irrigadas.

No sólo la madera de la teca es variable en cuanto a durabilidad; se ha comprobado la variabilidad de muchos árboles a través de su ámbito de distribución natural, que sugiere que los factores genéticos son en gran parte responsables de este resultado (Da Costa et al. 1961).

Pruebas de procedencias de *P. caribaea* en Transvaal y Zululandia, África del Sur, a los 16 y 17 años demostraron que los árboles de semillas procedentes de latitudes más altas producen volúmenes inferiores de madera, pero tienen mejor forma (Falkenhagen 1979).

Posibles ganancias genéticas. Los intentos por mejorar árboles en plantaciones forestales tropicales son de carácter local y relativamente recientes, por lo que las ganancias que se podrían lograr todavía no se han comprobado; no obstante, la información limitada sugiere que estas ganancias pueden ser grandes.

La selección en masa en plantaciones de seis a nueve años de *P. elliotii* en Queensland, Australia produjo mejoras evidentes de la progenie, en cuanto a volumen y rectitud del fuste (Nikles 1966). La selección fenotípica de los árboles padres resultó ser muy confiable. De los 400 árboles más vigorosos y bien formados por hectárea, los padres seleccionados en masa sólo rara vez produjeron progenie cuyas ganancias no fueran significativas, en comparación con el testigo. Además, esa progenie nunca fue inferior a la de control. Si bien se obtuvieron ganancias a partir de la progenie de padres seleccionados que se habían polinizado a campo abierto, las ganancias más espectaculares provinieron de la polinización controlada de los mismos árboles.

En Australia, *P. elliotii* de 13 años proveniente de árboles seleccionados de polinización cerrada tuvieron ganancias del 6% en altura total, 21% en rectitud del fuste y 22% en volumen por unidad de área (Anón. 1972a).

Un resumen de las ganancias genéticas producidas con la manipulación de árboles en los trópicos enumera, entre otras, troncos limpios y cilíndricos, tallos derechos, madera y pulpa de calidad, ramas más finas, copas más compactas y una menor cantidad de madera reactiva (Venkatesh 1976). Indicó que la selección en masa por sí sola casi había duplicado los rendimientos de *Eucalyptus* en Brasil, de 60 a 112 m³/ha/año. Simplemente con convertir rodales plus (con material previamente seleccionado) en áreas de producción de semillas, eliminando todos los árboles indeseables, se puede aumentar la productividad del 5 al 10%. Los huertos semilleros establecidos a partir de árboles plus sobresalientes pueden aumentar la productividad entre 10 y 20% en la primera rotación; con *P. caribaea* estos

huertos han proporcionado ganancias de hasta 50% en tallos derechos.

La selección de 25 árboles plus de ocho especies en Tanzania produjo plantones con un crecimiento 10% más rápido que los plantones de semillas no seleccionadas (Vaclav y Skoupy 1973).

Venkatesh (1976) indicó que es mucho más fácil establecer huertos semilleros con plantones, pero la ganancia que producen es sólo la mitad de la que se obtiene con viveros clonados. Los viveros establecidos con árboles de progenie comprobada pueden ganar entre 35 y 45%. La hibridación de dos especies estrechamente vinculadas es otro enfoque de ganancia genética. Híbridos de *E. camaldulensis* y *E. tereticornis* en la India mostraron a los cuatro años un aumento del 30% en el crecimiento en altura y 80% en incremento del dap, en relación con cualquiera de las dos especies. La hibridación también promete una mejor adaptabilidad al drenaje pobre, a la salinidad y a la sequía, además de mayor resistencia a las plagas y enfermedades. La hibridación de *P. caribaea* y *P. elliotii* en Australia produjo un híbrido F1 mejor adaptado a sitios pantanosos que cualquiera de sus padres (Slee 1969), y además, mantuvo la tasa de crecimiento rápido de *P. caribaea*. En Australia, se registraron ganancias en volumen a los seis años debidas al vigor del híbrido (Cuadro 7-14). Es interesante observar que los árboles sin fertilizar son los que exhiben el mayor porcentaje de ganancias, a partir de la hibridación.

La selección de árboles plus de *Cupressus lusitanica* en Kenia, a razón de uno por cada 206 400 árboles plantados produjo un aumento en el crecimiento del tronco del 125% y mejoras correspondientes en otras características del árbol (Cuadro 7-15).

Se esperan mayores ganancias con la hibridación de existencias superiores. Por ejemplo, un injerto de *Cedrela* en una cepa de *Toona* es resistente al gusano barrenador de brotes *Hypsipyla grandella* (Grijpma 1976). Ya que las larvas de los insectos mueren al barrenar los tejidos de *Toona*, se ha postulado que la resistencia de la especie se debe a una sustancia tóxica.

Sin embargo, si las ganancias genéticas implican una disminución de la diversidad del germoplasma, puede aumentar el riesgo de problemas relacionados con plagas y enfermedades (Gibson y Jones 1977).

Cuadro 7-14.—Vigor híbrido de *Pinus caribaea* y *P. elliottii* en Australia

Existencias	Volumen medio (m ³ /cien árboles)			
	Sin fertilizante	P	NP	NPK y Cu
<i>P. elliottii</i> and <i>P. caribaea</i>	3.8	38.9	34.0	38.4
Híbrido	9.6	60.0	59.5	43.6
<i>P. elliottii</i> and <i>P. hondurensis</i>	3.3	43.5	39.2	30.9
Híbrido	14.7	75.6	68.0	53.2
<i>P. caribaea</i> and <i>P. hondurensis</i>	1.7	33.4	25.6	20.2
Híbrido	6.5	52.7	38.8	34.0
Ganancia medio, porcentaje	250.0	63.0	68.0	46.0

Fuente: Anón. 1972b.

Nota: NPK y Cu = Nitrógeno, fósforo, potasio y cobre.

P. caribaea = *P. caribaea caribaea*. P. hondurensis = *P. caribaea hondurensis*.**Consideraciones económicas en el mejoramiento genético de árboles.**

Los gastos controlables claves en una plantación forestal son los costos de establecimiento, la seguridad del cultivo y el tiempo. El mejoramiento genético puede beneficiar a los tres. Si una especie arbórea es suficientemente variable como para reaccionar a la selección, y es ampliamente usada, es posible que aún los beneficios mínimos sobrepasen en mucho los costos del mejoramiento (Carlisle y Teich 1975).

La utilización de la madera es un buen punto para invertir en mejoramiento. La gravedad específica es la propiedad más importante de la madera para la

manufactura de pasta papelerera y papel en el sur de EE.UU. (van Buijtenen *et al.* 1975). Cuando las rotaciones son a corto plazo es deseable tener árboles con gravedad específica alta, pues generalmente es más caro refinar o usar aditivos para modificar las propiedades del papel, que lograr el mismo resultado usando la genética o la silvicultura.

Un aspecto económico importante del mejoramiento es la capacidad de predecir desde un inicio el desempeño posterior del árbol. En las pruebas de procedencias de *P. caribaea* en Transvaal y en Zululandia, las características genéticas posteriores estaban fuertemente correlacionadas con características ya evidentes a los ocho años (Falkenhagen 1979). Por lo tanto, quizás sea conveniente esperar hasta obtener resultados con las pruebas de progenie, antes de realizar programas extensos de plantación (Champion 1943).

El mejoramiento del árbol como un aspecto del manejo.

Al igual que la silvicultura, el mejoramiento del árbol debe considerarse parte integral del manejo forestal. Una amplia base genética es tan importante como el desempeño de un fenotipo. A la larga, las prácticas silvícolas, cuyo enfoque principal se centra en un crecimiento rápido, podrían comprometer la productividad, produciendo un exceso de madera con características juveniles y relaciones desfavorables de madera juvenil y madura (Bevege 1976).

Cuadro 7-15.—Ganancias obtenidas con la selección en *Cupressus lusitanica* en Kenia

Característica	Ganancia (%)
Volumen del fuste	125
Rectitud del fuste	30
Reducción de cancro y acanalado	85
Reducción de ramas por fuste	13
Mejora del ángulo de la rama	42
Índice de nudosidad	45

Fuente: Dyson 1969.

En Australia, los árboles de *P. caribaea* en plantaciones desarrollan poca madera madura, en comparación con los árboles que ocurren en forma natural, y son, por lo tanto, de una densidad mucho menor (Hughes 1968a). Esto puede reducir su valor para la construcción pesada, aunque sí es apropiada para la ebanistería. La madera para pasta papelera proveniente de plantaciones de crecimiento rápido de *P. caribaea* es de una calidad superior que la de bosques naturales. La gran variabilidad natural que esta especie exhibe es, en parte, de carácter genético. El manejo debe clasificar y controlar estas propiedades genéticas para mejorar la utilización (Hughes 1968a).

Las plantaciones se convertirán en las fuentes más importantes de material genético, a medida que el abastecimiento futuro de madera depende cada vez más de los árboles plantados. Al completarse las colecciones de material genético, las mejores fuentes de genes provendrán de plantaciones. Como parte íntegra del manejo, se ha sugerido el almacenaje de distintas fuentes en parcelas de 10 ha (Willan 1973). Debido al valor de este material para la producción futura, la plantación le dará una mayor protección que a campo abierto. Aunque no será posible salvaguardar todo, se debe conservar algo más que sólo los mejores árboles (Zobel 1978a): se deben preservar las *características* de cada procedencia como unidades separadas, mediante la conservación de muchos árboles representativos.

Cómo efectuar el mejoramiento de los árboles. Antes de comprobar si el mejoramiento forestal de ciertos árboles es de carácter práctico, se debe aplicar una selección inter-específica para eliminar los árboles indeseables, a nivel de especie. De ese modo, es posible que las características del genotipo y fenotipo dentro de la especie estén relacionadas y recompensen la selección con buenas características visibles.

El mejoramiento se debe hacer en una secuencia de pasos progresivos cada vez más intensivos, que incluyen algunos o todos los siguientes (Cooling 1967, Jones, N. 1967):

- Identificar el origen de la semilla de los árboles establecidos.
- Asegurar, a partir de una gama de procedencias, una base genética adecuada para una buena selección.

- Comparar el desempeño de árboles de distintas procedencias.
- Seleccionar rodales de características superiores.
- Mientras no se cuente con fuentes de semillas apropiadas, usar los rodales superiores identificados.
- Seleccionar fenotipos superiores.
- Usar plantones de polinización controlada, de muchos fenotipos superiores para establecer huertos semilleros temporales.
- Seleccionar los plantones de polinización controlada o la progenie de propagación vegetativa (incluyendo cultivo de tejidos) de fenotipos superiores; preservar los mejores en una colección de clones.
- Usar plantones o propagación vegetativa para desarrollar (a partir de la selección de progenie) huertos semilleros clonados, adecuados para una plantación en gran escala.
- Continuar la búsqueda de fenotipos sobresalientes para una mejora futura, e incluir nuevos y mejores genes en la colección de clones y huertos semilleros.
- Comprobar mediante análisis el potencial de los híbridos.

Una etapa inicial e importante en el desarrollo de árboles superiores es el establecimiento de fuentes temporales de semillas (Kelliston 1969), que han de servir hasta que los huertos semilleros alcancen la etapa de producción comercial. Estos son rodales plus donde se han eliminado los fenotipos indeseables y alrededor de los cuales se han colocado barreras de aislamiento para protegerlos contra el polen de afuera. La progenie de tales zonas generalmente no ha sido comprobada, así que faltan las pruebas de superioridad. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que los árboles de semillas recogidas en tales zonas son superiores a las de parcelas comerciales en cuanto a uniformidad, forma y resistencia a las plagas (Kelliston 1969).

Donde se espera establecer plantaciones de 75 000 ha o más, se deben establecer huertos semilleros diseñados para maximizar el emparejamiento de árboles

seleccionados por sus características deseables. Para un huerto semillero se necesitan al menos 25 clones, preferiblemente de 50 a 100; deben ser plantados al doble de la densidad final y dispuestos al azar para asegurar la separación de los rametos de cada clon. La fertilización y la irrigación pueden estimular la floración.

Todas las características no son totalmente heredadas, como lo indica el ejemplo del vigor de *Tectona grandis* (Wyatt-Smith y Lowe 1972). Por lo tanto, si se desea lograr resultados óptimos se debe determinar lo antes posible en el proceso de selección, hasta qué punto las distintas características son heredables, porque la selección de ciertas características podría impedir que se favorezcan otras.

En África oriental, el proceso de selección comenzó con plantaciones de pino de al menos diez años de edad y diez metros de altura o más (Dyson y Paterson 1966). El personal de campo hizo la primera selección con base en fustes rectos y cilíndricos, copa estrecha, ausencia de enfermedades, fertilidad y tamaño relativo en relación con cinco árboles cercanos. Otras características que se consideran valiosas son: persistencia del líder, simetría de la copa, pequeñez de las ramas, ángulo estrecho de las ramas, buen podado natural, declinación leve del tronco, ausencia de ramas epicórmicas, y cantidad mínima de raíces tabulares (Jones, N. 1967). En árboles seleccionados al azar se debe comprobar: los anillos de crecimiento, el porcentaje de madera madura, el largo de la fibra, la densidad y el ángulo del veteado. La calidad de la madera es un criterio de selección importante, tanto como la forma y tipo de ramificación (Hughes 1973).

Los criterios de selección de *P. caribaea* en Surinam (Teunissen y Voorhoeve 1973) incluyen los siguientes:

- Hábito, rectitud, falta de bifurcación, copa llena, diámetro y altura por encima de los árboles vecinos.
- Ramas que salen a un ángulo de 90° del tronco.
- Nódulos que no resaltan demasiado.
- Florecimiento completo más tarde que el promedio y de abundancia mediana.
- Pocos verticilos por metro de fuste.

- Pocas ramas por verticilo.
- Baja razón entre diámetro de las ramas y diámetro del tallo.
- Alta razón entre circunferencia a media altura y circunferencia a un décimo del largo.

En Australia, los criterios de selección han incluido propiedades aceptables de la madera, como un mínimo de grano en espiral, fibra larga y densidad básica moderada (Anón. 1968b).

En Ghana, la selección de árboles plus de calidad de exportación entre géneros nativos, como *Afrormosia*, *Entandrophragma*, *Khaya*, *Tarrietia*, *Terminalia* y *Triplochiton*, ha sido guiada por los siguientes criterios (Britwum 1970): 1) tronco con gambas pequeñas, libre de acanalados, torceduras y otras irregularidades; 2) tronco de 30 m o más; 3) sin evidencia de grano en espiral; 4) ramas pequeñas con buena poda natural; 5) ausencia de enfermedades o daños. Con los árboles seleccionados de esta manera se establecieron los huertos semilleros.

Los empeños para mejorar los árboles de *E. deglupta* comenzaron con la colección de semillas de todas las variantes aparentes en su ámbito de distribución natural (Davidson 1973b). Cuando las pruebas de procedencias alcanzaron entre 11 y 20 años de edad, se seleccionaron los árboles superiores con base en el vigor, forma y densidad de la madera. Luego, se establecieron huertos semilleros con las semillas de fenotipos seleccionados, después de eliminar el material inferior. El espaciamiento del huerto fue amplio para fomentar la producción de semillas. También se establecieron huertos de clones mediante esquejes e injertos de los fenotipos sobresalientes.

A partir de su experiencia con *E. deglupta*, Davidson (1973b) llegó a conclusiones de aplicación general. Debido a que el potencial del crecimiento de la especie parecía en general adecuado, el objetivo era lograr la uniformidad. Ya que se habían determinado bajos rendimientos de celulosa, esta era una oportunidad valiosa para mejorar esta característica. La densidad de la madera era muy variada; otra característica susceptible de mejoramiento. Sin embargo, ya que la densidad de la madera es afectada por la tasa de crecimiento, el

objetivo principal debía ser la uniformidad. La variación del largo de la fibra fue poco variable y no justificaba mucha atención.

El momento de floración y otros factores favorecen la autopolinización de los eucaliptos (Eldridge 1976). Casi todas las especies ensayadas se autopolinizan hasta cierto punto. Hasta que los sistemas para el mejoramiento de los eucaliptos y las consecuencias de la selección se entiendan mejor, se debe suponer que una gran cantidad de emparejamientos no ocurre al azar con bajas condiciones heredables; por consiguiente, los programas de mejoramiento deben enfatizar la selección a nivel de familia y no de fenotipos individuales (Eldridge 1976).

La intensidad de la selección en masa debe variar con el tamaño y la calidad de la fuente de semillas y el propósito de la colección. Para plantaciones pequeñas (o dentro de aquellas que ya se han mejorado y son más uniformes desde el punto de vista genético), se puede seleccionar hasta un quinto de los árboles (Nikles 1973); pero en plantaciones sin mejorar para establecer huertos clonales no comprobados sólo se requiere uno entre 24 000 árboles. Ensayos semejantes a partir de bancos de clones y pruebas de progenie polinizada en campo abierto con *Cupressus lusitanica* y *P. patula* en Colombia han seleccionado hasta uno entre 82 000 (Gutiérrez y Ladrach 1978).

Cuadro 7-16.—Producción de polen de *Pinus taeda* en relación con el espaciamiento de huertos semilleros de 13 a 16 años en Australia

Número de árboles por hectárea	Amentos machos ^a	
	Por árbol (miles)	Por hectárea (cientos de miles)
128	60	78
163	57	93
262	50	132
403	24	95
608	3	19
1,902	2	42

Fuente: Florence y McWilliam 1956.

^aLos amentos son espigas de flores unisexuales sin pétalos.

El espaciamiento en zonas de producción de semillas es crítico para el rendimiento. La cantidad de polen producido por plantaciones de 13 a 16 años de edad de *P. taeda* en Australia fue mayor con 262 árboles por hectárea y menor con 608 árboles por hectárea (Cuadro 7-16).

La producción de conos refleja no sólo la disponibilidad del polen sino también el éxito de la polinización. Florence y McWilliam (1956) descubrieron que la producción de conos de *P. taeda* en Australia había reaccionado significativamente a la calidad del sitio. Los efectos del espaciamiento sobre la producción de conos en una plantación de 13 a 16 años de *P. elliotii* y *Araucaria cunninghamii* en Australia se muestran en el Cuadro 7-17. La cantidad de semillas de *P. elliotii* por cono varió con la disponibilidad de polen, disminuyendo en rodales densos donde había una cantidad muy reducida de polen. A densidades de 140 a 450 árboles por hectárea, el promedio de semillas por cono fue de 100; y con una densidad de 790 árboles por hectárea sólo se produjeron 86 semillas por cono (Florence y McWilliam 1956). Estos estudios recomiendan espaciamientos de 7,3 m x 7,3 m, o 187 árboles por hectárea en zonas raleadas para la producción de semillas. A los 20 años, los rodales plus raleados hasta lograr estos espaciamientos debían rendir 62 conos de *P. elliotii* por árbol y 28 kg de semillas viables por hectárea, y 70 conos de *A. cunninghamii* por árbol y 1120 kg de semillas viables por hectárea (Florence y McWilliam 1956).

Los huertos se pueden plantar en forma densa, con el fin de separar algunos de los genotipos más adelante (Shelbourne 1973). Una vez que se han completado los ensayos de progenie, se puede establecer un nuevo huerto con los árboles que presentan las mejores posibilidades de combinar las características seleccionadas.

En el neotrópico se trabaja fuertemente en la selección de procedencias. En 1962, se ensayaba con acodado al aire de *P. caribaea* en Trinidad como inicio de ensayos de clones (Chalmers 1962). En 1976, en Brasil se ensayaba con tres variedades de *P. caribaea*, además de *P. elliotii densa*, *P. kesiya*, *P. oocarpa* y *P. pseudostrobus*; 31 procedencias, en 13 lugares distribuidos en tres estados. México tiene un programa similar al de Brasil (Patiño 1976).

Cuadro 7-17.—Efecto del espaciamiento en la producción de *Pinus elliottii* and *Araucaria cunninghamii* en Australia

No. de árboles por hectárea	No. de conos por árbol	Conos por hectárea (miles)
<i>P. elliottii</i>		
148	40–120	5.5–16.5
198	32–85	6.4–17.6
445	8–45	3.6–20.8
790	2–14	1.6–16.2
<i>A. cunninghamii</i>		
247	54–85	13.2–21.1
445	32–65	12.1–28.9
692	11–44	6.8–30.1
939	11–18	9.4–17.2
1,423	5–8	5.3–10.8

Fuente: Florence y McWilliam 1956.

Rotación

Una buena rotación es básica para la planificación y el manejo de una plantación. Refleja el tamaño del árbol requerido para la cosecha final y el período de crecimiento esperado para lograrlo. Sin embargo, en los trópicos las plantaciones rara vez se han establecido con el fin de satisfacer demandas futuras. En consecuencia, la plantación se hace al cálculo, fijando tentativamente el tamaño final del árbol y la rotación, debido a cambios imprevistos del mercado, fluctuaciones económicas o tasas de crecimiento no comprobadas. Esta incertidumbre no va en contra de una planificación racional; simplemente confirma que el primer cultivo en cualquier sitio no necesariamente crece según lo establecido por las fuentes mejor informadas. A esta incertidumbre se añade la gama de diámetros cada vez más amplia a medida que la plantación crece, lo que sugiere distintos períodos de crecimiento en rodales distintos. Las restricciones de mercado para árboles pequeños -por mucho tiempo un serio obstáculo a la silvicultura intensiva en el trópico- se han reducido hasta tal punto que algunas rotaciones se han acortado drásticamente.

Se reconocen varios tipos de rotaciones (Fenton 1968); una rotación física para satisfacer una necesidad real o anticipada; una rotación silvícola para optimizar la regeneración natural; una rotación técnica para productos específicos; una rotación de producción máxima para obtener un rendimiento máximo por año

de madera comercial; y una rotación financiera para generar el mayor rendimiento posible de un área forestal.

En el caso de la leña, la rotación financiera tiende a ser más larga que la rotación de producción máxima porque es más barato cosechar árboles grandes que pequeños, pero tiende a ser más corta que la rotación de la producción máxima de árboles grandes debido al costo de las inversiones. Es posible que la duración de la rotación financiera se extienda al subir pronunciadamente el valor de los árboles de diámetro más grande.

Es deseable seleccionar una rotación desde el principio, aunque en ese momento puede ser una decisión arbitraria, porque pocos estudios documentan los costos y reacciones ante prácticas como el raleo, y los efectos del tamaño y la edad del árbol en la calidad y valor del producto (Fenton 1968).

La variedad de mercados ha producido grandes diferencias en el largo de la rotación. Cuando el producto es madera para leña, las rotaciones no deben exceder el tiempo necesario para lograr la culminación del incremento medio anual. Las limitaciones principales en este caso son la gran proporción de corteza y el costo del manejo de árboles pequeños. Para *Leucaena leucocephala* se recomendaron rotaciones de sólo 2 a 3 años desde hace mucho tiempo (Matthews 1914), con

un dap promedio de 5 cm y una altura de sólo 3 m. Estudios más recientes de las variedades gigantes de *Leucaena* muestran un triple aumento de la biomasa por árbol entre el tercer y cuarto año (1,7 a 5,5 kg), lo que sugiere una cosecha más tardía si se logra un crecimiento sostenido por unidad de área (Pathak *et al.* 1981).

Casuarina equisetifolia, comúnmente usada como leña en el trópico oriental, ha sido manejada con una rotación de seis a diez años (Raghavan 1947). Al otro extremo está la teca en lo que hoy es Myanmar, durante la década de los 1950, con una rotación de 150 años para árboles de 70 cm dap en sitios húmedos y 60 cm en sitios secos (Aung Din 1957). Dos factores tienden a reducir las rotaciones largas: la creciente escasez de madera grande en los bosques naturales ha hecho que el mercado se ajuste a árboles de menor tamaño; también, el aumento de la población y la demanda regional por productos de madera menos especializados han permitido cortas intermedias, con lo que disminuye la duración media de la rotación.

La especie africana *Aucoumea klaineana*, una fuente valiosa de madera de enchapar, se ha plantado extensamente en Gabón (Catinot 1962). Los raleos provocaron rebrotes vigorosos que condujeron a estudios sobre el posible uso como madera para pulpa. En plantaciones de 750 árboles por hectárea, el volumen de madera se duplicó entre el 7º y 10º año, y otra vez más entre el 10º y el 18º año (Leroy-Deval 1975). Sin embargo, debido a que el crecimiento real comenzó a reducirse después del 11º año, se llegó a la conclusión que la mejor rotación para obtener madera para pulpa se hallaba entre el 11 y 12 años.

Calidad de la madera. A medida que la rotación aumenta, se reduce el porcentaje de duramen de baja calidad y el porcentaje de madera de fibra inclinada, particularmente en los pinos (Fielding 1967). De la misma manera, aumenta el largo promedio de la célula, la gravedad específica promedio (aunque puede disminuir en ciertas especies latifoliadas) y el porcentaje de duramen. Todas estas tendencias favorecen rotaciones más largas para madera de calidad.

Para la producción de papel, la rotación corta en especies latifoliadas tiene varias desventajas. La madera juvenil tiene un mayor porcentaje de madera reactiva,

aunque en rotaciones de al menos ocho años, la gravedad específica y los rendimientos de pulpa pueden igualar a la madera madura (Einspahr 1976). La energía requerida para moler la pasta y el tiempo de cocción son menores para la madera de rotación corta, aunque para las coníferas, los requisitos químicos quizás sean más altos. Sin embargo, la presencia de una mayor cantidad de corteza puede reducir el rendimiento en papel y la resistencia al rasgado.

Rotaciones con *Eucalyptus* en África del Sur (*E. grandis*, principalmente) han sido de: 6 a 10 años para postes, pulpa y postes para mina; 10 a 14 años para postes telefónicos, y 14 a 30 años para madera de aserrío y enchapado (Poynton 1981).

El crecimiento del árbol y del rodal ayuda a determinar la rotación óptima, aunque varían con el sitio, condición del rodal, especie y método de medición. Assman (1970) ha enumerado algunas fuentes universales de variación, entre ellas:

- La edad del árbol determina no sólo la tasa de crecimiento y rendimiento durante períodos limitados de crecimiento, sino también el rendimiento promedio para la edad promedio del árbol.
- Para cada categoría de edad hay más árboles en sitios pobres.
- Para cualquier altura media dada, hay una menor cantidad de fustes por unidad de área en sitios pobres.
- A la misma altura de corta, las especies exigentes de luz tienen menos representantes por unidad de área que las especies tolerantes.
- El diámetro medio del árbol es, en realidad, el promedio cuadrático que corresponde al área basal media del árbol. (Este promedio es aproximadamente el de un tronco de volumen medio).
- La altura dominante, una medida útil para estimar el volumen, es el promedio de los 100 árboles con mayor dap en una hectárea.
- El incremento del área basal puede culminar y declinar antes de alcanzar un rendimiento de importancia.

- El crecimiento en altura decrece naturalmente con la edad. La calidad del sitio se debe determinar por la altura de los árboles, y no por el rendimiento del cultivo.
- El factor de forma, un valor que convierte el producto del dap por la altura total en volumen, aumenta con la edad, como un promedio del rodal.
- El crecimiento del volumen resulta del efecto combinado del incremento en área basal y altura, además de los cambios en el factor de forma.
- El incremento medio anual (IMA) del rodal comienza a declinar mucho antes que el IMA de los árboles individuales.

Por lo general, la rotación es determinada por la interacción de varios parámetros que cambian con la edad de la plantación. Los parámetros altura, diámetro, área basal y volumen aumentan, y cada uno culmina más tarde en la vida de la plantación que su predecesor. Los promedios culminan aún más tarde.

La rotación a menudo se basa en la edad en que el crecimiento alcanza un punto equivalente al IMA, el cual es el punto máximo; sin embargo, dos parámetros económicos pueden influir en las decisiones relativas a la rotación. Para la mayoría de los usos, cuanto más grande el árbol, tanto más valiosa la madera por unidad de volumen, lo que significa que los aumentos actuales y medios del valor culminan más tarde que el incremento del volumen. Por otra parte, los cargos de la inversión suben más rápido ya que el interés es acumulativo, lo que tiende a acortar las rotaciones con el fin de obtener rendimientos máximos. A estos factores se deben añadir, además, las influencias locales, como el riesgo de pérdida de árboles, la fluctuación de los precios, el rendimiento *versus* la frecuencia de los costos de regeneración y las necesidades especiales del propietario.

Un estudio efectuado en Nigeria con las principales especies latifoliadas demostró que el crecimiento actual del área basal culmina mucho antes que las maderas de calidad alcancen tamaños comerciales (Lowe 1970). Para *Tectona grandis*, *Terminalia ivorensis* y *Triplochiton scleroxylon*, el crecimiento del área basal por árbol culmina entre los siete y ocho años; para *Nauclea diderrichii*, la culminación ocurre entre los 10 y 12 años.

El apéndice I presenta varios ejemplos de plantaciones con fechas significativas para la selección de la rotación.

Predicción del crecimiento. Como se indicó antes, las teorías de la fijación de energía sugieren que la síntesis potencial máxima de la madera seca puede alcanzar 60 t/ha/año (Dawkins 1964b). En la práctica, sin embargo, la producción máxima de madera seca sobre el nivel del suelo, incluyendo ramas, parece ser de 20 a 40 t/ha/año para *E. grandis*, *E. regnans*, *E. saligna*, *P. merkusii* y *P. radiata*, a altas elevaciones, con precipitación y suelos favorables (Dawkins 1964b). Cifras comparables de 20 t/ha/año se obtuvieron para *Agathis* y *Swietenia*, y de 10 a 15 t/ha/año para *Simarouba* y *Tectona*. Generalmente, no se espera que angiospermas tropicales como *Aucoumea*, *Maesopsis*, *Schefflera* y *Triplochiton* puedan rendir más de 5 a 10 t/ha/año de madera seca. Dawkins (1964a) concluyó que estos géneros nunca sobrepasan las 11 t/ha/año, y que el máximo usual es de menos de 8 t/ha/año, con una cobertura de copa del 90% (la máxima extensión posible). Tales rendimientos reflejan los efectos de usar los mejores genotipos y microambientes disponibles, mejores de lo que el manejo jamás podría esperar con la gama actual de genotipos. Las especies intolerantes y de madera liviana produjeron los rendimientos más bajos (Dawkins 1964b).

Muchos de los datos presentados en esta sección se tomaron de tablas de rendimiento; su derivación y uso merecen una descripción. El análisis siguiente ha sido adaptado de Vuokila (1965). Las tablas de rendimiento tienen que ver con el rendimiento que se puede alcanzar, no necesariamente con el rendimiento obtenido; son modelos y no necesariamente se aplican a un rodal específico. Ellas muestran el desarrollo progresivo del rodal a intervalos regulares, cubriendo gran parte de la vida útil en un sitio específico. Generalmente, muestran la cantidad de árboles, el dap, la altura de los árboles, el área basal y los rendimientos, incluyendo raleos.

Las tablas de rendimiento normal se refieren a rodales naturales de densidad completa que nunca han sido cortados. Estas son útiles como base de comparación. Las tablas de rendimiento empírico tienen que ver con las condiciones promedio del rodal real; algunas ofrecen rendimientos provenientes de rodales residuales después del aprovechamiento. Las tablas de rendimiento preliminar o provisional presentan grupos de datos para cada sitio bajo un tratamiento promedio. Las tablas de

rendimiento múltiple presentan el desarrollo del rodal bajo varios grados de cortas intermedias (raleos ligeros, pesados o bajos). Estas tablas deben ser revisadas a medida que las prácticas cambian.

Las tablas o funciones de rendimiento de densidad variable son más versátiles porque permiten predecir los resultados de cualquier tratamiento intermedio. Se basan en estudios de árboles y no de rodales, para los cuales se necesitan datos sobre crecimiento del árbol bajo una gran variedad de condiciones; luego, se deduce el desarrollo del rodal con base en el desarrollo de los árboles. Cuando están bien preparadas, estas tablas se pueden adaptar a cualquier bosque y a cualquier régimen de raleo.

Los siguientes criterios se han establecido en la zona templada para predecir el volumen y el crecimiento de los árboles (Assman 1970):

1. El volumen del árbol a partir del dap y la altura total (R , el coeficiente de determinación o el cuadrado del coeficiente de correlación = 0,99; o sea que explica el 99% de la variación).
2. El volumen del rodal a partir del área basal del rodal y la altura de los 100 árboles más grandes por hectárea ($R = 0,99$).
3. El incremento diamétrico a partir de la edad del rodal, la altura de los árboles dominantes, el dap de los árboles, el dap medio del rodal, el intervalo de raleos y el porcentaje del área basal eliminada por el raleo ($R = 0,93$).
4. El incremento en altura a partir del dap medio inicial del rodal, la altura inicial del árbol, la edad inicial y el dap inicial del árbol ($R = 0,94$).
5. El incremento del área basal a partir de la edad inicial del rodal, la altura de los 100 árboles más grandes por hectárea, el área basal inicial por hectárea, el porcentaje del área basal eliminada durante el raleo, el intervalo de raleos y el dap medio inicial del bosque ($R = 0,96$).
6. El incremento del volumen a partir de los siguientes parámetros: el IMA en dap entre raleos, la edad inicial del árbol, el dap inicial del árbol, la altura inicial y la altura media de los 100 árboles más grandes (en dap) por hectárea ($R = 0,93$).

Cuando se comparan los volúmenes en el campo, los trabajadores comúnmente suponen que todos los árboles tienen un factor de forma único. En África oriental, el mismo factor de forma fue aplicable a *Cupressus lusitanica*, *E. saligna* y *P. patula* (Osmaston 1961). En Uganda se desarrolló un "silve" para efectuar comparaciones rápidas de los volúmenes, el cual equivale al dap^2 (en pulgadas) multiplicado por la altura total (en pies) y dividido por 500 (Osmaston 1961). Esta ecuación varía de 0,96 para un árbol de 4 pulgadas dap y 30 pies de altura, a 138,24 para un árbol de 24 pulgadas dap y 120 pies de altura. En el sistema métrico, el silve correspondiente es dap^2 (en centímetros), multiplicado por la altura total (en metros) y dividido por 1000; o 1,0 para un árbol de 10 cm dap y 10 m de altura, y 144 para un árbol de 60 cm dap y 40 m de altura.

Tratamiento de la plantación

Sembrar las plantas es meramente un preludio al establecimiento de una plantación. Sólo en zonas excepcionales es posible asegurar mediante la siembra solamente, la supervivencia y el desarrollo de una plantación satisfactoria.

Protección. El primer requisito para el éxito de una plantación es protegerla de peligros, como incendios, pastoreo u otro daño producido por los animales, y las transgresiones de los seres humanos. Los vecinos del lugar pueden jugar un papel clave, previniendo, informando y controlando problemas de esta índole. Una manera de fomentar el apoyo es involucrarlos en el planeamiento y en las oportunidades de empleo que las plantaciones ofrecen. Si los incendios constituyen un serio problema, quizás sea necesario educar o convencer a los residentes sobre las consecuencias, además de entrenarlos y equiparlos para que puedan luchar como voluntarios contra los incendios.

Control de la vegetación. La experiencia a nivel mundial ha demostrado que se necesita un control del crecimiento de la vegetación indeseable (malezas), en la mayoría de los sitios forestales. Los árboles recién plantados tienen sistemas radiculares muy pequeños y acaban de sufrir el trauma del trasplante. En climas húmedos, las hierbas y las trepadoras tienden a ahogar aún a los árboles de crecimiento rápido, plantados en los sitios bien preparados. En climas secos, compiten por el agua escasa con los árboles que se han plantado. Un cierto control de la vegetación es esencial para el éxito de la mayoría de las plantaciones. Bajo condiciones

adversas, plantaciones enteras pueden ser destruidas por un crecimiento sin control.

Las malezas de los trópicos húmedos constituyen un problema tan serio que uno de los requisitos principales de las especies a ser plantadas en la región es un rápido crecimiento inicial en altura. De hecho, en ciertos lugares se habla de un crecimiento mínimo de 1,5 m de altura para el primer año (Lamb 1969b).

La invasión de las plantaciones jóvenes por una vegetación pionera de crecimiento rápido puede ser o dañina o beneficiosa. En Gabón, la invasión de *Musanga cecropioides* en plantaciones de *Aucoumea* se considera dañina, y se recomienda su eliminación (Deval 1967). A la inversa, la invasión de *Cecropia* y *Simarouba* en plantaciones de *Swietenia macrophylla* en Martinica, prácticamente eliminó los ataques del gusano barrenador de los brotes de la caoba, evidentemente debido a la mayor sombra que estas especies proporcionan (Marie 1949).

La intensidad óptima de desmalezado se debe determinar localmente. Por un lado, un crecimiento excesivo de malezas en un bosque de rebrotes de teca redujo su productividad (Laurie 1934a); pero por otro, el hecho de mantener a las plantaciones de caucho constantemente libres de malezas resultó en un suelo erosionado que redujo la productividad (Haines 1934). No obstante, la limpieza a fondo de *C. arborea* plantada a 1,2 m x 1,8 m, en lo que hoy es Malasia, permitió el desarrollo de un dosel cerrado en 18 meses (Anón. 1948c).

Las necesidades de desmalezado varían con el sitio. En sitios húmedos, la competencia puede darse por más nutrientes o por más luz, así que se debe asegurar la iluminación solar directa. El crecimiento de las malezas es rápido y debe ser controlado para que los árboles estén libres al menos durante los primeros cuatro a seis meses. El crecimiento de malezas y trepadoras y, preferiblemente de sus raíces, debe ser cortado o destruido en un radio de al menos 1 m alrededor de cada árbol. Con algunos espaciamientos, esta práctica casi equivale a la limpieza total. Sin embargo, una limpieza de tal intensidad ya no es necesaria cuando los árboles alcanzan 2 m de altura.

En sitios secos, la competencia es por el agua principalmente, por lo que las malezas se deben eliminar a una distancia mayor, de hasta un radio de 1,5

m o más, para evitar el contacto con el plantón. Las malezas se deben arrancar de raíz (Dawkins 1955b, Laurie 1941a). En Zambia, la limpieza alrededor de cada árbol de *P. kesiya* en un bosque seco de miombo no estimuló el crecimiento inicial (Endean y Jones 1972); aunque la teca en Tanzania aumentó la altura en un 57% durante el primer año después de una limpieza total (Bryant 1968).

La intensidad de desmalezado también depende de las especies de árboles y de malezas que se hallan presentes. Por ejemplo, en Puerto Rico, *P. caribaea* creció a través del pasto matojo (*Andropogon licormis*) después de una limpieza inicial alrededor de cada árbol; pero con pastos como *Panicum maximum* y *Pennisetum purpureum* se necesitaron hasta seis limpiezas durante los primeros 17 meses (Geary y Zambrana 1972). La facilidad de controlar las malezas es un criterio importante cuando se clasifican los sitios de plantación.

Un experimento en lo que hoy es Sri Lanka permitió determinar la intensidad de desmalezado para *Eucalyptus* y otras especies de hoja ancha (Holmes 1941). Se compararon tres patrones de desmalezado: limpieza total de la zona entera, limpieza en franjas en las hileras de plantación y limpieza en parches alrededor de cada árbol. Las especies de *Eucalyptus* se consideraron establecidas a una altura de 2 m, y las demás especies a los 3 m.

La limpieza total arrojó una leve ventaja sobre los demás métodos al principio, pero al final del primer año, los árboles en franjas la habían alcanzado, y durante el segundo año, los árboles de limpieza en parches también la habían alcanzado. La mejor combinación de métodos fue efectuar una limpieza total durante el primer año, seguido por una limpieza en franjas durante el segundo. Los árboles tratados de este modo generalmente lograban establecerse en dos años, y para el tercer año ya todos lo habían logrado.

La necesidad de desmalezado no cesa con la misma rapidez en todas partes. Una plantación de tres años de *Cupressus lusitanica* en Colombia había alcanzado un dap promedio de 2,8 cm y había sobrepasado hacía tiempo ya a la vegetación herbácea, pero carecía de vigor y tenía una apariencia clorótica. Cuando se eliminó un parche denso de pastos *Melinis minutifolia*, el diámetro de los árboles aumentó un 50% más que los árboles sin tratamiento.

Para determinar si es necesario replantar, se requiere un control continuado de la supervivencia inicial de la plantación, ya que la competencia de las malezas puede provocar una mortalidad progresiva. Con frecuencia, las evaluaciones se efectúan de manera descuidada, sin datos confiables del porcentaje de árboles sobrevivientes, o del lugar y momento en que ocurrió la mortalidad. Se deben seleccionar hileras de muestras permanentes, con un número fijo de árboles en cada una, seleccionadas al azar y en suficiente cantidad para asegurar que se ha abarcado toda la gama de condiciones del sitio. Las observaciones deben indicar las posibles causas de mortalidad y la cantidad de árboles vivos y muertos. La frecuencia de las evaluaciones se debe determinar localmente; la primera evaluación debe hacerse antes de terminar la siembra para llenar los espacios de una vez. Quizás se necesiten más verificaciones para detectar los efectos de climas anormales.

Es normal la pérdida de árboles en el momento de la siembra o inmediatamente después, así que en el presupuesto inicial del proyecto se deben incluir disposiciones para el replantado. Los árboles se pueden perder por exposición durante el plantado, por la manipulación durante la siembra, o por condiciones adversas del clima justo después del plantado. Debido a que se planta una mayor cantidad de árboles de la que se cosecha, tales pérdidas son tolerables hasta cierto punto. En México, se consideran aceptables pérdidas bien distribuidas de hasta 75% (Martínez McNaught 1978). Sin embargo, si la mortalidad cubre áreas lo suficientemente grandes como para permitir una invasión seria de malezas, es mejor replantar. Esto se debería hacer durante el primer año para evitar que los árboles replantados sufran una desventaja permanente. El replantado representa una inversión más, generalmente cuesta más por árbol que el plantado inicial, y puede resultar en mayores costos de limpieza. Por ello, las causas de la mortalidad de la siembra inicial deben ser investigadas, y en términos económicos se justifica eliminarlas hasta donde sea posible.

Las experiencias en el sur de Brasil han demostrado que los eucaliptos comúnmente requieren limpieza durante dos a tres años (Simoes *et al.* 1976). Donde el crecimiento es rápido (hasta 4,5 m de altura a los 12 meses), tal vez no se necesite mayor limpieza. Los pinos de crecimiento lento son más capaces de competir con las malezas en el sur de Brasil, así que la limpieza puede

ser innecesaria. Los eucaliptos se limpian dos veces al año; los pinos, cuatro o cinco veces en total.

En Jari, a lo largo del Amazonas, las malezas más serias de las plantaciones son los árboles de *Cecropia* spp., los cuales se envenenan o cosechan para celulosa (Woessner 1980a, 1980b). En Trinidad, se eliminan las malezas y las trepadoras de las plantaciones de *P. caribaea* durante tres años (Lackhan 1976). La necesidad de limpiar las malezas perdura más tiempo en los sitios húmedos; en las plantaciones de pinos en las montañas muy húmedas de Costa Rica se requieren limpiezas hasta por siete años (Salazar 1978).

En las praderas de Papúa - Nueva Guinea, las plantaciones de pinos requieren tres limpiezas durante el primer año, dos durante el segundo y una durante los años tres y cinco (Lamb 1974). En la India, plantaciones de *E. tereticornis* comúnmente se limpian dos o tres veces al año durante tres años (Lohani 1978). En Fidji, la limpieza y corta de trepadoras en plantaciones de *S. macrophylla* se hace durante cinco años (Busby 1967).

En hileras de plantaciones bajo dosel se deja bosque natural para reducir el control de malezas; no obstante, es un error común suponer que los árboles plantados bajo cubierta crecen sin necesidad de limpiar de malezas. Si los árboles plantados han de crecer, necesitan luz solar directa, que las malezas pueden oscurecer rápidamente.

De hecho, limpiar árboles plantados dentro de un bosque natural es una tarea casi equivalente al desmalezado de plantaciones a campo abierto. Los claros sobre árboles plantados estimulan su crecimiento, pero también el de las trepadoras. Aunque las malezas no son tan exuberantes en un bosque natural como lo son al abierto, se necesitan prácticas de manejo (particularmente la corta de trepadoras) durante cinco años o más. Las copas de otros árboles que se inclinan sobre los árboles plantados también se deben reducir radicalmente.

Un estudio efectuado por Dawkins (1956) en Uganda demuestra las limitaciones de abrir claros en forma de corredores encima de árboles plantados bajo cubierta. La tala de todos los árboles de hasta 10 m de altura era dos veces más caro que abrir corredores; sin embargo, estos se cerraron en 18 meses, suprimiendo casi por completo a los árboles plantados. La eliminación de todas las ramas traslapadas requeriría casi una tala rasa.

El desyerbado se puede hacer a mano, a máquina o con herbicidas. Según Evans (1992), los métodos manuales requieren la menor destreza y supervisión y los métodos químicos la mayor. Donde los pastos densos se deben quitar por completo, el costo de la mano de obra (o valor de empleo) fue de 25 días-hombre por hectárea para limpieza manual, de 6 a 15 para limpieza mecánica y de 1 a 2 para limpieza química.

Tradicionalmente, las plantaciones pequeñas (o las que se encuentran en terreno difíciles) se desyerban a mano, con machetes y azadas. La mayoría de los trabajadores usan machetes con destreza, probablemente la herramienta más común de la región. Sin embargo, es peligrosa y con frecuencia causa lesiones, tanto a los árboles plantados como a los trabajadores. El entrenamiento de los trabajadores en el uso de esa herramienta quizás parezca redundante pero aún los que tienen gran experiencia se han de beneficiar, aprendiendo técnicas de seguridad. Una técnica es sujetar la vegetación con un palo bifurcado mientras se dan las cuchilladas. Otra es mantener una vigilancia constante por obstrucciones u otros trabajadores, mientras se dan las cuchilladas. La gente rara vez usa zapatos de seguridad y corazas para cubrir la parte anterior de la pierna, porque quizás no les parezca práctico, pero que suelen prevenir heridas. Además, los equipos de trabajadores se deberían entrenar y equipar para suministrar auxilio de emergencia.

En el sur de Brasil, es común el desmalezado mecánico con arados de discos (moto-azadas) y roto-cultivadores (Simoës *et al.* 1976). El espaciamiento entre las hileras debe ser suficientemente amplio para que entre la maquinaria. Sin embargo, aún donde el uso del equipo mecánico es apropiado, la limpieza entre franjas debe hacerse a mano.

Los herbicidas con frecuencia son más efectivos que el desmalezado mecánico. Una desventaja de ciertos herbicidas es la dificultad de transportar el solvente (aceite o agua) al sitio. Sin embargo, con los herbicidas se requiere un menor esfuerzo y la zona queda libre de malezas por un período más largo. Los herbicidas pueden eliminar a los árboles que están de más y que cubren a los árboles plantados bajo cubierta, como las trepadoras y malezas a ras del suelo. Su efectividad se ha comprobado y cuando se usan sustancias químicas oficialmente autorizadas, de acuerdo con las instrucciones y bajo una supervisión estricta, el proceso no debería suscitar inquietudes ambientales. La decisión

de usar herbicidas depende en gran parte de un complejo de factores políticos, económicos y sociales. Una decisión bien razonada requiere de: una evaluación completa de todos los riesgos, un estimado del costo de los demás tratamientos para la eliminación de las malezas (Newton 1975) y una autorización oficial.

Los herbicidas comúnmente se aplican con rociadores portátiles operados a mano. Se debe tener mucho cuidado cuando se rocía alrededor de árboles recién plantados, porque ellos también son susceptibles a algunos herbicidas. Se debe entrenar a los trabajadores para que no inhalen, ni permitan que los herbicidas toquen su cuerpo. La etapa más peligrosa de la operación de fumigar plantaciones recién establecidas se puede obviar, colocando un escudo cónico y cilíndrico encima de cada árbol, mientras se rocían las malezas a su alrededor.

El costo de la limpieza puede exceder en mucho a la preparación del terreno y plantado, y puede disuadir de hacer reforestación (Gutiérrez 1970, Salazar 1978). En sitios lluviosos de tierras bajas, aún los *Eucalyptus* pueden necesitar de 17 a 49 días de trabajo de limpieza por hectárea (Lamb y Bruce 1974). Este requisito constituye un argumento persuasivo de la necesidad de seleccionar especies de árboles de crecimiento inicial rápido en altura. La producción de árboles de crecimiento lento, y que necesitan limpiezas dos veces al año durante varios años, quizás nunca sea beneficiosa.

El presupuesto de un proyecto de plantación debe considerar el desmalezado; de otro modo, quizás sea necesario reducir los fondos de plantación en aras de la limpieza de plantaciones recientes (Iyamabo y Ojo 1972). Cualquier proyecto también debe comparar la relación costo/efectividad de las distintas técnicas e intensidades de limpieza. Un control total de las malezas puede ser de buena apariencia pero generalmente no es necesario; por consiguiente, quizás se logren ahorros significativos mediante limpiezas menos frecuentes o menos completas.

No es necesario desyerbar el *Eucalyptus* en algunos sitios de Sudamérica, donde el terreno desde un principio está completamente cultivado y fertilizado (Donald 1971). La fertilización todavía no es común en los bosques tropicales, pero la experiencia agrícola sugiere que vale la pena hacer la prueba.

Cultivos de protección. Se han plantado cultivos de protección bajo una variedad de plantaciones de árboles tropicales. En las plantaciones de caucho, en lo que hoy es Malasia, comúnmente se han usado especies nativas como cultivos protectores del suelo (Haines 1934). Estos cultivos reducen la erosión y el escurrimiento aumentando la infiltración del agua de lluvia, reducen la temperatura del suelo y, por lo tanto, la evaporación y añaden materia orgánica a la superficie del suelo (Haines 1934). Sin embargo, los cultivos protectores son exigentes con el suelo. Experiencias con cultivos protectores de especies leguminosas demostraron que el mayor beneficio se da cuando se labra bien el suelo (Becking 1951).

Un informe exhaustivo (Watson 1973) presenta más evidencias del desempeño de la cobertura herbácea en las plantaciones de caucho. Si el cultivo protector se planta al mismo tiempo que el caucho, es posible que la cobertura herbácea se desarrolle rápidamente durante tres años y luego deje de crecer a medida que se cierra el dosel. Pruebas en maceta indican que las leguminosas pueden fijar hasta 235 kg/ha de N en cinco meses, pero pueden causar un drenaje severo de P, pues requieren el equivalente de 280 kg/ha de fosforita en los primeros 12 meses y 110 kg/ha anualmente después. Sin embargo, las leguminosas crecen vigorosamente y proporcionan una acumulación rápida de materia orgánica en la superficie del suelo (Watson 1973).

Estudios en Oubangui-Chari, República de África Central, indicaron que para la conservación de suelo y del agua, la mejor cobertura en plantaciones jóvenes de café era una capa de paja, pero era una alternativa demasiado costosa (Forester 1959). La limpieza total de malezas produjo una erosión excesiva del suelo; la cobertura con pasto *Paspalum*, batatas y *Leucaena* no eran compatibles. La mejor alternativa fue *Pueraria* (kudzu), que si se controla, no toma demasiados nutrimentos y tiene el mismo efecto beneficioso que la limpieza total en el café.

Pruebas de coberturas herbáceas perennes de leguminosas al pie de *P. caribaea* y *P. elliotii* en el sur de Queensland, Australia, demostraron que la leguminosa comenzó a deteriorarse después de tres años (Richards 1967). Una cobertura similar disminuyó los rendimientos de pinos exóticos, pero estimuló los de especies coníferas nativas (*Agathis robusta* y *Araucaria cunninghamii*), y aumentó el contenido de N en coníferas nativas, sin efectos adversos en el contenido de

N de los pinos. Sin embargo, los pinos crecieron más que los árboles nativos.

En resumen, hay pocas experiencias concluyentes en materia de una buena cobertura herbácea bajo las plantaciones madereras. En Puerto Rico, parece que la conservación del suelo y del agua está asegurada, si el raleo es suficiente para mantener el dosel abierto entre las copas de los árboles. La vegetación nativa herbácea proporciona una cobertura continua y suficiente capaz de controlar la erosión.

Plantación intercalada. Los cultivos múltiples de árboles madereros y el uso del sistema taungya se tratan en detalle en el próximo capítulo. Esta sección está principalmente dedicada a las plantaciones intercaladas que se usan para beneficiar la producción de madera.

Estudios con teca en la India mostraron que la especie toleraba *Leucaena* y *Syzygium jambolanum* bajo ella (Laurie 1934b). También se recomendaba plantar bambú porque la teca no produce ramificaciones epicórmicas, cuando crece con bambú

El papel que juega *Leucaena* en plantaciones de teca se descubrió ya en el siglo XIX en Java (Becking 1951). La teca crecía lentamente y fracasaba en sitios pobres, pero se encontró que *Leucaena* constituía un sotobosque excelente, pues cubre el suelo rápida y completamente y permanece verde durante la estación de sequía, por lo que impide el crecimiento de las malezas. Es fácil de sembrar, tolera la sombra de la teca y puede ser plantada suficientemente cerca a la teca como para favorecer una buena formación del tronco de esta. *Leucaena* puede incrementar la productividad de la teca en un 50%, pues aumenta la porosidad del suelo, el contenido de humus y los niveles de nutrimentos. Brota aún después de incendios, impide la erosión y produce una madera excelente, que se puede usar para leña y carbón. En suelos pobres, el crecimiento de *Leucaena* puede sobrepasar el de la teca, por lo que se debe podar. Se puede lograr un beneficio máximo si el follaje podado se coloca al pie de los árboles de teca. El ganado come el follaje de *Leucaena*, por lo que en ciertos sitios ha sustituido a otras especies (tales como *Acacia villosa*).

En la India, el cultivo de árboles o arbustos de cobertura al pie de la teca para mantener o mejorar el suelo e impedir el crecimiento de malezas, redujo el crecimiento de la teca en un 33% (Venkataramany 1956). Los productos del cultivo intercalado pueden

compensar estas pérdidas. Se ha recomendado en estos casos, el uso de maderas valiosas o árboles especializados, tales como *Rauwolfia* y *Cinnamomum*.

En Java, se han intercalado *Leucaena* y *P. merkusii* (Alphen de Veer 1954). La *Leucaena* se debe podar mientras los pinos todavía son jóvenes, pero una vez que los pinos se cierran, la leucaena muere.

Labranza del suelo. El suelo bajo plantaciones rara vez se labra después de la siembra, excepto donde se intercalan otros cultivos. Un experimento con *E. alba* en Brasil demostró que la labranza anual del suelo durante 1 a 3 años después del plantado no tenía ningún efecto sobre el desarrollo de los árboles (Guimaraes *et al.* 1959).

Sin embargo, el establecimiento de cultivos intercalados con plantaciones madereras ha sido usado durante más de un siglo. La práctica surgió como reacción a dos problemas: 1) el alto costo del manejo de plantaciones jóvenes limitaba el establecimiento de plantaciones, 2) la falta de terrenos adecuados para cultivos agrícolas. La práctica conocida como "taungya", un esfuerzo conjunto de dueños de bosques tropicales y campesinos, se originó en lo que hoy es Myanmar en 1866 (Blanford 1925). El sistema taungya se define como el establecimiento de un cultivo forestal en medio de un cultivo agrícola; los árboles son cuidados durante el tiempo que dure el cultivo agrícola (Dawkins 1958c).

Baur (1964b) indicó que debido a que el sistema taungya normalmente está asociado a un bajo nivel de vida, a veces se lo critica. Sin embargo, con una explosión creciente de la población mundial, quizás sea la única manera de que gran parte de la población tenga algo de qué vivir.

La práctica se ha aplicado más que todo en bosques estacionales; comenzó en la India en 1914 y se ha diseminado a través de los trópicos desde entonces. En 1961, las plantaciones de taungya abarcaban 78 000 ha en Ghana (Danso 1966). El gobierno cosechaba la madera del bosque nativo; luego, los pobladores limpiaban, quemaban y preparaban el terreno que se volvía a plantar con árboles, y los campesinos intercalaban sus cultivos durante 1 a 3 años.

El descubrimiento, en el estado de Bombay, India, de que la regeneración de la teca no era satisfactoria hizo que se iniciaran plantaciones taungya en ese país

(Kaikini 1960). Además, en los bosques secos de Madras, los marañones (*Anacardium occidentale*), que generalmente se tornaban amarillos y crecían lentamente, crecieron con rapidez intercalados con *E. tereticornis* (Rajasingh 1968). Uno o dos cultivos de alimentos se han intercalado con *Eucalyptus* en algunas partes de la India (Lohani 1978).

En lo que hoy es Myanmar, el sistema taungya resultó ser útil en combinación con regeneración natural (Kermode 1952, 1955). Donde la regeneración fue mayor de lo que se esperaba, se permitió que los campesinos sembraran cultivos entre los árboles jóvenes de especies valiosas en bosques secundarios secos y semi-perennes. Se alcanzó una supervivencia de teca suficiente para permitir un espaciamiento promedio de menos de 1,8 m x 1,8 m. Por lo general, se cosechó sólo un cultivo antes que la teca se apoderara del sitio.

En Malasia, se logró un éxito relativo con *P. caribaea* en sistema taungya (Ramli Mansor y Ong 1972), en tanto que los resultados con dipterocarpáceas fueron "variables". La experiencia enfatiza la necesidad de desarrollar planes de trabajo claros, antes de introducir el sistema taungya para proteger las zonas que se deben conservar, y definir los términos de los convenios y el nivel de las prácticas de manejo que se han de efectuar (Fielding 1972).

En Mayumbe, antiguo Zaire, la práctica de taungya se desarrolló con *Terminalia superba* y cultivo de banano (Dawkins 1955b). En esta práctica conocida como "uniformisation par le bas", (uniformización por lo bajo) el campesino que alquila el terreno, planta banano al año siguiente de una cosecha forestal, y un año después planta los árboles suministrados por el servicio forestal. Para el cuarto o quinto año, los árboles ya están establecidos. Según los informes, el sistema taungya también tuvo éxito en Uganda, donde se usaron *Terminalia*, *Triplochiton* y varias especies de Meliaceae (Lawton 1976).

El sistema taungya se introdujo en el neotrópico en Trinidad con plantaciones de teca (Cater 1941). Se lograron dos cosechas agrícolas antes de que la teca comenzara a crecer libremente. Se prohibieron los cultivos cuyo crecimiento sobrepasaba al de la teca, como yuca, gandules, okra y taro. En Surinam se usó el sistema para establecer *Cordia alliodora* (Vega 1978). Se han usado los siguientes cultivos bajo ciertas restricciones: maíz, arroz, banano y yuca. El cultivo

agrícola dura dos años en suelos arenosos y tres años en suelos arcillosos. El campesino se compromete a cuidar los árboles hasta el cuarto año, época en que se espera que hayan alcanzado una altura de 8 m. En Puerto Rico entre 1935 y 1945, mediante el “sistema parcelero”, se reforestaron con éxito miles de hectáreas de tierras agotadas, con caoba (*Swietenia* spp.), *Eucalyptus* spp. y otras especies.

Las experiencias en la India permiten sacar varias conclusiones sobre las ventajas y limitaciones del sistema taungya (Kadambi 1957). El sistema permite el establecimiento de plantaciones baratas y generar empleo (Fig. 7-4). Bien manejado, el sistema también puede cubrir al menos parte de la demanda por terrenos arables. Por otro lado, el sistema es útil sólo en zonas donde existe una demanda por cultivos agrícolas, lo que también requiere terrenos suficientes para asegurar que los cultivos agrícolas tengan rotaciones continuas. En terrenos marginales, generalmente los más disponibles, este sistema suele exponer al suelo y robarle parte de su fertilidad. Además, el sistema taungya no es necesariamente un sustituto para todas las prácticas de manejo, porque por lo general se necesitan mayores cuidados una vez que se acaban los cultivos agrícolas (Danso 1966). Según Kennedy (1930), el éxito del sistema taungya depende de que su uso sea atractivo para los campesinos, convenciéndolos de que les conviene y que con él sacan buen provecho.

Irrigación. La irrigación de los árboles madereros quizás parezca una inversión cuestionable. Sin embargo, ya que los árboles se necesitan desesperadamente en las regiones secas de los trópicos, se han establecido en el hemisferio oriental muchas plantaciones irrigadas.

Algunas de las plantaciones irrigadas más antiguas y de mayor éxito se encuentran en Punjab, India



Fig. 7-4.—Control rápido de la vegetación en Java, mediante el uso del sistema taungya que intercala maíz, arroz, *Leucaena leucocephala* y *Tectona grandis*.

(Kitchingman 1944), donde un desierto que recibe de 20 a 50 cm de precipitación anual se convirtió en un bosque que rinde 2,2 a 3,4 t/ha/año de leña. La especie plantada es principalmente *Dalbergia sissoo*, a espaciamientos de 1,8 m x 3,0 m. A los seis años, los diámetros de los árboles varían de 5 a 10 cm y alcanzan alturas de 10 m. En ese momento, un raleo rinde de 28 a 35 estéreos de leña por hectárea. A los 12 años, se aplica un segundo raleo con un rendimiento igual, y la tala final se efectúa en el año 20. Las cuatro plantaciones irrigadas principales de la región en 1944 se describen en el Cuadro 7-18 (Kitchingman 1944).

Un ensayo más reciente de plantaciones madereras irrigadas se inició en Sudán (Booth 1965). Los resultados iniciales fueron prometedores con *Acacia farnesiana*, *Albizia lebbek*, *Casuarina cunninghamiana*, *Conocarpus latifolius*, *D. sissoo*, *Eucalyptus* spp., *G. arborea*, *L.*

Cuadro 7-18.—Área cubierta y aumento de plantaciones irrigadas en la India en 1944

Plantación	Año de inicio	Superficie en 1944 (ha)	IMA (m ³ /ha/año)
Changa Manga	1866	4,200	20
Chichawathi	1913	3,620	10
Khanewal	1915	6,300	6
Daphar	1919	2,670	8

Fuente: Kitchingman 1944. IMA= incremento medio anual.

Cuadro 7-19.—Devolución de nutrimentos por la hojarasca en una plantación de híbridos de *Eucalyptus* en la India

Edad de la plantación (años)	Devolución anual de nutrimentos por la hojarasca (kg/ha)				
	N	P	K	Ca	Mg
5	29.8	1.6	15.0	40.2	5.0
10	59.2	3.9	30.6	73.2	9.3

Fuente: George 1982.

N = Nitrógeno. K = Potasio. Mg = Magnesio.

P = Fósforo. Ca = Calcio.

leucocephala, *Melia azedarach*, *Prosopis juliflora* y el bambú *Dendrocalamus strictus*.

Un ensayo en Paquistán indicó cuáles eran los requerimientos de agua en las plantaciones irrigadas (Sheikh y Masrur 1972). Estos requerimientos durante una estación de crecimiento de siete meses se resumieron con base en tres técnicas de irrigación: goteo, canales y anegación. Las cantidades necesarias fueron 2,2 m³ por árbol para el goteo; 9,9 m³ para los canales y 14,9 m³ para la anegación. Los crecimientos medios en altura correspondientes fueron 61 cm, 66 cm y 81 cm, respectivamente. El crecimiento en altura por metro cúbico de agua para las tres técnicas fue de 28 cm, 7 cm y 5 cm, respectivamente, lo que indica que la irrigación por goteo es la más eficiente.

Quema. La quema de la hojarasca bajo las plantaciones establecidas libera nitrógeno y quizás agrega nitrógeno amónico al humus y a las capas minerales del suelo cubiertas por la hojarasca (Wollum y Davey 1975). La nitrificación posterior quizás resulte porque aumentó la disponibilidad de amonio y de elementos esenciales del subsuelo.

Un ensayo a largo plazo de quemas anuales en plantaciones de *Acacia* spp. en Natal, África del Sur, no mostró un efecto adverso sobre la calidad o el rendimiento de esta leguminosa (Beard y Darby 1951). Tampoco se evidenció una reducción en el contenido de humus del suelo, ni en la capacidad de retener agua o de almacenar humedad. El pH aumentó levemente, pero no se registraron efectos adversos. Diez años más tarde

se concluyó que la quema afecta el desempeño del cultivo adversamente, sólo cuando las cenizas se pierden debido a la erosión producida por el agua o el viento (Beard 1961).

Es común que las plantaciones coníferas se quemem por accidente, y en general, están bien adaptadas a los incendios y por eso los resisten. De hecho, la quema controlada en los bosques de pinos es una práctica común en la zona templada, y se ha recomendado para las plantaciones brasileñas de *P. elliotii* y *P. taeda*, para reducir el peligro de que se produzcan incendios a causa de la acumulación de material combustible (Soares 1975).

Fertilizantes. Las plantaciones forestales capturan, conservan y reciclan grandes volúmenes de nutrimentos; por lo que las necesidades de fertilización, si existen, son mucho menores que las de cultivos agrícolas. La recuperación de nutrimentos a través de la hojarasca en una plantación de *Eucalyptus* híbridos en la India ilustra este punto (Cuadro 7-19). La plantación, situada en un clima con 200 cm de precipitación anual, presentó a los cinco años, un dap promedio de 11,1 cm y una altura de 14,6 m; a los diez años, el dap era de 14,4 cm y la altura de 19,0 m.

Las plantas silvestres dedican casi el 2,5% de su energía fotosintética a la fijación del nitrógeno atmosférico y otro 5% a reducir el nitrato reciclado, previamente fijado por la descomposición (Gutschick 1978). Tarde o temprano, al agotarse los combustibles fósiles, se deberá confiar en la fotosíntesis para satisfacer las necesidades mundiales de energía. Sin embargo, ni aún las leguminosas fijan todo el N que necesitan, en tanto que el fertilizante a base de N logra aumentar el rendimiento de un cultivo hasta en cinco veces más; por ello, el mayor uso agrícola de fertilizantes es una alternativa más atractiva y oportuna que la destrucción de una mayor cantidad de bosques para cultivos intermitentes.

Existen al menos tres razones principales para el uso de fertilizantes en los trópicos:

- El aumento de la producción de alimentos, principalmente mediante el uso de fertilizantes, es la mejor manera de enfrentar la presión sobre los bosques tropicales.

- No es posible aumentar la fijación del N ni la descomposición en forma tan rápida y en cantidades suficientes como para proporcionar los nutrientes que garanticen la producción de alimentos para las poblaciones de los trópicos.
- La producción y el uso de fertilizantes para generar una mayor cantidad de alimentos en los trópicos a corto plazo, quizás sea el mejor uso de los recursos fósiles.

Gutschick (1978) indicó que la rotación de cultivos con leguminosas no puede proporcionar ni la mitad del rendimiento que el uso actual de fertilizantes logra. El retorno de todo el N en las aguas residuales a los campos sólo compensaría el 10% del fertilizante que actualmente se usa, y el costo del transporte no compensaría el trabajo. Además, el hidrógeno (H) requerido para el amonio de los fertilizantes se puede generar con mucho carbón, o una pequeña cantidad de petróleo.

Lundgren (1978) describe muy bien las necesidades de fertilizantes en plantaciones forestales tropicales; un resumen de sus argumentos aparece en los párrafos siguientes. Sus conclusiones, basadas en sus experiencias en Tanzania, parecen tener una aplicación general a los suelos poco fértiles de los trópicos húmedos y sub-húmedos, aún si no se toman en cuenta las especies plantadas.

La conversión de la vegetación natural a bosques producidos por el hombre, usando las técnicas de manejo de la actualidad inevitablemente agotarán el suelo, al disminuir la materia orgánica y los niveles de nutrientes, dañando la estructura de la capa superficial y reduciendo la porosidad. La magnitud y velocidad de este deterioro depende del clima, de las condiciones del suelo, de las prácticas de manejo y de las especies usadas.

Cualquier deterioro del suelo retarda el crecimiento de los árboles. El deterioro puede aparecer de repente, como resultado de la compactación o erosión del suelo, o lentamente, al reducirse la capacidad del suelo de retener agua. La declinación quizás no sea significativa durante las primeras dos o tres rotaciones de cultivos en sitios favorables, ya que podría ser compensada temporalmente por semillas mejoradas y métodos silviculturales; pero, debido a que estos son más

exigentes en cuanto a la fertilidad del suelo, su beneficio muy probablemente no durará más de una o dos rotaciones. En sitios pobres, el crecimiento puede declinar al final de la primera o segunda rotación.

Estas inquietudes, sin embargo, no constituyen un argumento en contra de la producción forestal intensiva. La forestería puede significar todavía un uso ecológicamente más sostenible que el cultivo agrícola. Al menos se pueden controlar, una vez identificados, ciertos tipos de deterioro del sitio.

El hecho de reconocer las probabilidades de deterioro de un sitio es menos inquietante que la negación de tal posibilidad por parte de quienes manejan el bosque. La investigación en manejo de suelos es mucho más importante para los agricultores tropicales que para los silvicultores. Sin una buena inversión en el mantenimiento de un sitio, los pronósticos de rendimientos forestales a largo plazo podrían ser ilusorios.

La mayoría de los forestales ponen en duda la urgencia de aplicar prácticas de mejoramiento de suelos. Las razones incluyen: el hecho de que los árboles pueden utilizar los recursos existentes mejor que otros cultivos, la creencia de que la productividad sostenida se puede alcanzar mediante la genética, y la falta de evidencia local en cuanto a la respuesta de los cultivos forestales a los fertilizantes (Nwoboshi 1968). Por consiguiente, las inversiones en fertilización no parecen justificadas.

Aunque se espera que el costo de los fertilizantes ha de aumentar, su uso en los bosques también ha de aumentar. Por una parte, la competencia por los terrenos quizás por fuerza introduzca la necesidad de obtener los mayores rendimientos producidos con fertilizantes (Swan 1965). Además, la escasez de madera elevaría el valor de los mayores rendimientos atribuibles al uso del fertilizante. Las posibles ganancias en productividad con el uso de fertilizantes parecen mayores y más inmediatas de lo que se esperaría con otras prácticas silvícolas. Jari ahora fertiliza tres veces en rotaciones de 5 a 7 años.

Cada uno de los nutrientes primarios tiene un efecto distinto sobre el desarrollo de las plantas (May 1954). El nitrógeno contribuye principalmente al crecimiento vegetativo, la formación de tallos y hojas. El fósforo fomenta el desarrollo de las raíces y acelera la maduración de las semillas. El potasio es necesario para

la asimilación y aumenta la resistencia contra las enfermedades. De estos tres nutrimentos primarios, ninguno es efectivo si están ausentes los otros dos.

La FAO efectuó un estudio mundial de 13 000 ensayos con fertilizantes entre 1961 y 1964 (Phillips 1972). En América tropical, los ensayos demostraron un aumento medio del crecimiento del 95%. El valor del crecimiento añadido en comparación con los costos también aumentó con el tiempo. El estudio demostró que en las zonas húmedas y sub-húmedas, se produjo un aumento del rendimiento principal al añadir N, pero que este efecto igual se podía lograr en forma más económica al añadir fósforo. La mayoría de los ensayos arrojaron mayores rendimientos al añadir potasio a la mezcla de N y P. Para cada uno de estos nutrimentos, el crecimiento mayor ocurre con los primeros 20 kg/ha; las ganancias generalmente culminan con 60 kg/ha, en árboles genéticamente mejorados.

Se ha comprobado que la aplicación de fertilizantes es necesaria para la supervivencia de muchas plantaciones tropicales (Ojo y Jackson 1973). Los pinos en una zona de Nigeria crecen mal a menos que se les dé superfosfato. Los eucaliptos en otras partes del África sufren muerte regresiva, a menos que se apliquen fertilizantes a base de boro. El fósforo es un elemento que muy a menudo causa reacciones en las pruebas de campo; de hecho, el N sin P a menudo no produce ninguna reacción; y el N por sí solo puede dañar a los pinos. Rara vez se ven reacciones favorables con aplicaciones de K solamente.

Los fertilizantes nitrogenados afectan tanto la forma como la uniformidad del árbol (Schultz 1976). Los fertilizantes aumentan el dap del árbol más que la altura y por consiguiente aumentan el ahusamiento del fuste, reduciendo el factor de forma. También reducen la variabilidad en el dap de árboles en plantaciones (Schultz 1976).

El efecto de los fertilizantes en las propiedades de la madera no sólo varía de especie a especie, sino también parecen variar de un árbol a otro (Zobel *et al.* 1961). El tratamiento de una plantación de *P. taeda* de 16 años en EE.UU., que consistió en proporcionarle 180 kg/ha de N, 90 kg/ha de superfosfato y 90 kg/ha de sal potásica durante tres años consecutivos, produjo durante los siguientes siete años, madera con una gravedad específica significativamente menor (hasta el 16%) que

la madera siete años antes del tratamiento (Zobel *et al.* 1961). Otros estudios sugieren que la madera de *P. palustris* y *P. taeda* puede aumentar la gravedad específica después de la fertilización, sin que disminuya la calidad del duramen juvenil o el porcentaje de la madera tardía (Schmidting 1973). Otro beneficio puede ser una menor cantidad de duramen durante la etapa de madera para pulpa.

Las fuentes comunes de nutrimentos contienen los siguientes porcentajes de N, P y K (May 1954):

Nutrimento	Porcentaje
Nitrógeno	
nitrato de sodio	15
sulfato de amonio	20
abono orgánico	0.4-0.7
Fósforo (P_2O_5)	
superfosfato	20
superfosfato doble o triple	40
abono orgánico	0.2-0.4
Potasio	
sulfato de potasio	50
muriato de potasa	48
ceniza de madera	5-15
abono orgánico	0.1-0.7

La aplicación de fertilizantes se debe considerar en función del equilibrio de los nutrimentos. Las pérdidas que sufren los bosques por lixiviación, erosión o cosecha, se deben compensar. El caso de un sitio en Alemania donde la hojarasca se usó como combustible durante 25 años (Bray y Gorham 1964) constituye un ejemplo histórico de las consecuencias que se sufren al ignorar este requisito. La eliminación de la hojarasca redujo en dos tercios el crecimiento en área basal y cuando se discontinuó la práctica, el bosque tardó 30 años en recuperarse.

La importancia del equilibrio de N en la producción de madera es evidente en un bosque estrictamente monitoreado en Europa Central (Wehrmann 1961). El suministro de N por la precipitación fue de 3 a 7 kg/ha/año, y la absorción del amonio del aire añadió otros 4 a 7 kg/ha/año. Las pérdidas por lixiviación fueron de 2 a 4 kg/ha/año. La cosecha de árboles con más de 7 cm dap sin corteza drenó un promedio de 10 kg/ha/año. La extracción de ramas, corteza y raíces aumentó la pérdida de N en casi 20/kg/ha/año. Se llegó a la

Cuadro 7-20.—Flujo de nutrimentos en una plantación de *Pinus radiata* bajo rotación de 35 años en Nueva Zelanda

Índice	Nutrimentos (kg/ha/año)			
	N	P	K	Ca
Aporte (precipitación)	— ^a	1.1	21.8	3.9
Eliminación (dos raleos)	6.6	0.9	8.1	5.4
Balance neto	— ^a	+0.2	+13.7	-1.5

Fuente: Will 1968, citado por Schultz 1976.

^aDatos no disponibles.

N = Nitrógeno. K = Potasio.
P = Fósforo. Ca = Calcio.

conclusión que no había una manera económica de establecer una producción de madera que rindiera suficiente N para equilibrar las pérdidas, aunque el uso de especies fijadoras de N hubiera sido beneficioso. Al añadir N mediante la fertilización no sólo se elimina la deficiencia, sino que se reduce la susceptibilidad del bosque a hongos y plagas (Wehrmann 1961).

El reemplazo natural de nutrimentos del suelo no se ha medido extensamente en los trópicos. Evidencias en Puerto Rico, sin embargo, sugieren que la capacidad de abastecer K en ciertos suelos comunes puede ser adecuada para sostener los cultivos forestales durante un período indefinido. Ensayos en ultisoles arenosos du-

Cuadro 7-21.—Demanda neta de nutrimentos de *Pinus radiata* en Nueva Zelanda

Período	Demanda de nutrimentos (kg/ha)			
	N	P	K	Ca
Primeros 10 años	493	41	308	201
Próximos 25 años	0	12	84	90
Próximos 10 años, 2da rotación	246	20	199	99

Fuente: Will 1968, citado por Schultz 1976.

N = Nitrógeno. K = Potasio.
P = Fósforo. Ca = Calcio.

rante cuatro años de cultivos intensivos de pastos para reducir el K al nivel de reemplazo, mostraron una contribución natural de casi 35 kg/ha/año (Abruna *et al.* 1976). En tierras altas, el promedio para 17 suelos fue de 90/kg/ha/año; para seis oxisoles fue de casi 50 kg/ha/año, y en siete inceptisoles -una gama que abarca suelos francos, esquistos tobáceos y suelos francos derivados de diorita gruesa- el suministro promedio de K fue de 106/kg/año.

Un aumento de 50 kg/ha/año, mucho mayor que el promedio de N en pinos jóvenes plantados en EE.UU. y Europa (Richards y Voigt 1965), no se explica por el suministro obtenido de la precipitación (10 a 12 kg/ha/año). Bacterias libres fijadoras de N contribuyen con menos de 10 kg/ha/año. Experimentos que usan el isótopo N¹⁵ sugieren que el resto se adquiere por fijación (Richards y Voigt 1965).

Las plantaciones conservan y reciclan nutrimentos de manera natural, lo que posiblemente resulta en un suministro residual mayor para las rotaciones posteriores. Casi la mitad del N, P y K en las agujas de *P. taeda* se transmigran a otros órganos inmediatamente antes de la excisión o separación (Schultz 1976). Los elementos menos móviles, Ca y Mg, permanecen en las agujas cuando caen. El Cuadro 7-20 presenta las exigencias netas de *P. radiata* en Nueva Zelanda (Will 1968, citado por Schultz 1976). El Cuadro 7-21 sugiere que los cultivos subsiguientes quizás exijan mucho menos del suelo que la primera cosecha.

Este balance de nutrimentos no refleja las condiciones durante la primera etapa de la plantación cuando la absorción excede en mucho al remplazo a través de la hojarasca. En este momento es cuando más beneficioso es el fertilizante. La necesidad de fertilización varía con los requerimientos de cada especie; por ejemplo, en una plantación de dos años de Australia, la absorción de nutrimentos de *E. grandis* excedía a la de *P. elliotii* en estos porcentajes: N 86%, P 197%, K 366%, Ca 1243% y Mg 347%. El reemplazo de nutrimentos a través de la hojarasca en plantaciones es una fuente significativa para el crecimiento futuro (Cuadro 7-22).

La cantidad de nutrimentos eliminada por el aprovechamiento y la remanente en el campo fue determinada para *Eucalyptus* en la región del Mediterráneo (Phillips 1966, citado por Singh 1967). La tasa promedio anual de eliminación de P₂O₅ fue de 8,6 a 10,8 kg/ha, y de 6,4 a 16,6 kg/ha lo que quedó en el

sitio. De K_2 se eliminó de 34,5 a 289,3 kg/ha y quedaron de 78,8 a 296,1 kg/ha. De óxido de calcio, las cifras fueron 70,2 a 136,5 kg/ha eliminados y 277,7 a 478,1 kg/ha restantes. Por lo general, los nutrimentos remanentes exceden a los eliminados.

En la zona templada se han efectuado estudios sobre la incidencia de los métodos de aprovechamiento más intensivos sobre los niveles de nutrimentos. En Finlandia, la extracción de árboles enteros eliminó la mitad de los desechos que se hubieran quedado en el sitio con métodos tradicionales, eliminando casi el doble del N y P (Malkonen 1972). El desbastado de árboles enteros en el bosque elimina un 50% más de N y P. Además, las pérdidas causadas por la extracción no se limitan a la eliminación simple, sino que además aumenta la lixiviación. El pronóstico de una mayor deficiencia de N se agrava, a medida que las plantaciones forestales quedan relegadas a los sitios más pobres permitiendo que la agricultura se expanda y ocupe los mejores sitios.

Los nutrimentos que se pierden con el aprovechamiento muy probablemente tendrán que ser reemplazados con fertilizantes, en cantidades mayores a las pérdidas porque gran parte del fertilizante aplicado se pierde por lixiviación.

Estudios en Casamance, Senegal, demostraron que la hojarasca de la teca se descompone rápidamente, la mineralización del carbón (C) permanece activa y la mineralización del N permanece inhibida (Mahuey y

Dommergues 1960); esto implica que se deberán usar fertilizantes minerales para sostener la productividad. Se sugirió mezclar especies para mejorar el desempeño; entre ellas, especies que mineralizan el C lentamente, como *K. grandifoliola*, para reducir la tasa de pérdida de materia orgánica. Las especies que producen materia orgánica, y así aumentar el N mineralizable, quizás también puedan mejorar el equilibrio de nutrimentos.

El contenido de nutrimentos de cinco árboles de *E. globulus* en Italia muestran los efectos de la cosecha; información que podría ser útil en los bosques tropicales (Cuadro 7-23). Estos árboles tienen un dap promedio de 24 cm y una altura promedio de 21,6 m. Los porcentajes del Cuadro 7-23 muestran que la extracción del fuste con corteza elimina más de la mitad de los nutrimentos aprisionados en la biomasa sobre la superficie del suelo. En plantaciones que rinden 15 m³/ha/año, esto significaría un promedio de eliminación anual de 8,2 kg/ha/año de N, 2,8 kg de P, 9,9 kg de K, 50,4 kg de Ca y 4,0 kg de Mg.

En los sitios donde la adición de N en el momento del plantado no estimula demasiado el crecimiento, puede ser que la vegetación en competencia está mejor preparada que los árboles recién plantados para aprovecharse del N añadido (Wollum y Davey 1975). Aún cuando la competencia sea controlada, la reacción a grandes dosis de N es de corta vida. No es posible crear reservas de N de larga duración en el suelo, como sí se puede hacer con P y K. Por consiguiente, la cantidad necesaria de fertilizante a base de N depende

Cuadro 7-22.—Devolución de nutrimentos por la hojarasca en una plantación de teca (*Tectona grandis*) de diez años y en bosques naturales del África occidental

Fuente	Promedio de devolución anual en tres años (kg/ha)				
	N	P	K	Ca	Mg
Plantación de teca, Nigeria					
Hojas	82.0	8.4	63.5	179.0	20.0
Semillas, partes florales	6.5	.7	5.6	3.8	.9
Ramas menudas	2.0	.4	2.6	3.5	.6
Total	90.5	9.5	71.7	186.3	21.5
Bosque húmedo perenne, Burkina Faso	164.0	11.0	54.0	73.0	— ^a
Bosque húmedo decíduo, Ghana	199.0	7.0	68.0	206.0	— ^a

Fuente: Egunjobi 1974.

^aDatos no disponibles.

N = Nitrógeno. K = Potasio. Mg = Magnesio. P = Fósforo. Ca = Calcio.

Cuadro 7-23.—Contenido de nutrimentos de cinco árboles de *Eucalyptus globulus* en Italia

Elemento	Biomasa seca (g/árbol)	Biomasa aérea (%)		
		Fuste y corteza	Ramas	Hojas
Nitrógeno	672	59	13	28
Fósforo	57	71	14	15
Potasio	306	60	14	26
Calcio	1,808	68	24	8
Magnesio	301	82	13	5

Fuente: Lubrano 1968.

muchísimo de los requerimientos *actuales* de la planta (Wollum y Davey 1975). Además, no es siempre beneficioso eliminar la vegetación que parece estar compitiendo con los árboles jóvenes; algunos tipos de vegetación pueden mejorar la economía del N lo suficiente como para compensar cualquier efecto negativo.

Los resultados variables obtenidos se deben, posiblemente al abastecimiento natural de nutrimentos; lo que quiere decir que algunas aplicaciones se hicieron cuando el suministro de nutrimentos era adecuado o excesivo. Además, en plantaciones no raleadas y establecidas los árboles podrían estar demasiado apiñados para reaccionar (Schultz 1976).

Un estudio en Australia con *P. radiata* (Turner 1982) demuestra los beneficios a largo plazo de la aplicación de fósforo (P). La plantación recibió el tratamiento a los cuatro años; a los 16 años, el área basal de la plantación que había recibido 100 kg/ha de P había aumentado 3,2 veces y el volumen era 4,5 veces el de la parcela de control. Después de 30 años, el dap promedio de las dos plantaciones había alcanzado 38,7 cm y 26,5 cm respectivamente y la ganancia neta del cultivo era de A\$8600 por hectárea comparado con A\$3195 por hectárea. Todos los tratamientos menos el más bajo (25 kg/ha) fueron gananciosos.

Otra fuente de inconsistencia en cuanto a la acción del fertilizante fue la interacción de deficiencias múltiples de nutrimentos. Es común ver resultados positivos con el uso de N y P en conjunto, donde el uso de N por sí sólo es inefectivo o dañino. Se han registrado tales resultados con neem (*Azadirachta indica*), eucaliptos, pinos y

Gmelina (Jackson 1973). Tal confusión se puede eliminar incluyendo en cada prueba uno o más tratamientos en que todos los nutrimentos, aparte del que se está ensayando, están presentes y disponibles en abundancia.

Aunque muchos ensayos de fertilización del *Eucalyptus* han producido resultados inconsistentes, existen pruebas que se pueden lograr condiciones óptimas de nutrimentos y que el esfuerzo vale la pena (Cromer y Hausen 1972). En Victoria, Australia, la aplicación de 101 kg/ha de N en forma de sulfato de amonio y nitrito de amonio, y 45 kg/ha de P duplicó el crecimiento en altura en los dos años posteriores y aumentó en diez veces la producción de madera, sin que se presentaran mayores efectos adversos en los valores de densidad, extractivos, lignina o pentosano.

Los resultados de pruebas de fertilización en todo el mundo, sugieren algunos tratamientos que merecen ser ensayados en otros sitios. Se han efectuado numerosos ensayos con *P. caribaea*. Un ensayo inicial en lo que hoy es Belice comparó los efectos de aplicar 14 g, 28 g y 56 g de superfosfato triple por árbol (Anón. 1959g). La cantidad más pequeña tuvo un efecto pronunciado en el crecimiento en altura, mientras que las cantidades mayores arrojaron resultados poco mejores.

Los tratamientos de fertilización aplicados a *P. taeda* en el sur de Queensland, Australia, a los tres años mostraron que la reacción al fósforo dependía de la condición del nitrógeno (Richards y Bevege 1967a). Para garantizar una reacción inmediata al P, se debía añadir N también. La razón beneficio/costo con el fertilizante fue de 1,33 en comparación con 1,03 sin fertilizante. Parte del beneficio fue que con los nutrimentos añadidos

se logró sostener 2220 tallos por hectárea hasta los siete años, que es la edad de raleo para pulpa; sin fertilización, sólo se pudo sostener 1000 tallos por hectárea.

En Brasil, la fertilización completa de *P. caribaea bahamensis* en el momento del plantado aumentó el crecimiento en altura durante el primer año en un 67%, pero en el segundo año, los efectos del N ya no eran significativos (Simoes *et al.* 1970). Por otro lado, las aplicaciones de P, K, y Ca continuaron siendo beneficiosas.

En Australia, el fósforo aplicado a *P. taeda* a los ocho años produjo resultados notables cuatro años más tarde (Anón. 1952a). El volumen de madera sin corteza hasta un diámetro mínimo de 7,6 cm a la edad de 12 años con fertilización fue de 88 m³/ha; o sea, 11 m³/año, en comparación con sólo 7 m³/ha/año sin fertilizante. Con 213 kg/ha de superfosfato aplicado a los ocho años, el volumen a los 12 años aumentó 49 m³/ha/año; o sea, 12 m³/ha/año. Con 430 kg/ha de superfosfato, el aumento fue de 84 m³/ha (21 m³/ha/año). Con 918 kg/ha de superfosfato, el aumento fue de 155 m³/ha (39 m³/ha/año). La aplicación de 1774 kg/ha de superfosfato aumentó el rendimiento a 157 m³/ha, casi lo mismo que la aplicación anterior. Estos rendimientos cinco veces más altos que los obtenidos sin fertilización probablemente no se pueden mantener, pero son indicativos de una severa deficiencia de fósforo.

La aplicación de fertilizante a *E. saligna* en suelos latosoles rojo-amarillentos en Sao Paulo, Brasil, aumentaron el crecimiento de manera espectacular (Mello *et al.* 1970). Se aplicaron 54 kg/ha de N, 172 kg/ha de P₂O₅ y 25 kg/ha de K₂O. A los cinco años, el rendimiento de la plantación fertilizada fue de 50 estéreos/ha/año, en comparación con 30 estéreos/ha/año para la plantación sin fertilizar.

En Darwin, Australia, la irrigación de *Anthocephalus chinensis* con aguas negras provocó un crecimiento de hasta 10,6 cm dap y 8,2 m de altura en 18 meses (Cracium 1978).

Estos ejemplos de reacción a los fertilizantes no han sido demostrados por completo, pues su significancia es más cualitativa que cuantitativa. Además, en muchos de estos estudios se desconocía la disponibilidad inicial de nutrientes, así como la cantidad de fertilizante consumido por las plantas. Es evidente, sin embargo,

que cualquiera sea el uso local de fertilizantes en cultivos agrícolas, las deficiencias de nutrientes y la reacción de los árboles a la adición de nutrientes complementarios merecen ser estudiadas en viveros y en plantaciones jóvenes y estudiadas, particularmente donde existen problemas de crecimiento.

Raleos

Los productos de madera, tales como madera de aserrío y contrachapado, sólo se pueden obtener de árboles con ciertas dimensiones mínimas. A medida que el crecimiento de los árboles sobrepasa estas dimensiones, su rendimiento y valor aumentan y disminuye la proporción de material utilizable. El tamaño del árbol es importante aún para pulpa, porque el procesamiento de la madera industrial es lineal; los costos tienen que ver más con la cantidad de unidades manipuladas que con el tamaño. Para cubrir el volumen de un sólo árbol de 30 cm dap, se deben derribar y manipular de 15 a 20 árboles de 10 cm dap. Los árboles grandes también son más valiosos debido a la calidad superior de su madera para la mayoría de los productos. Por lo tanto, las metas forestales de producción, el plazo de las rotaciones y de las prácticas silvícolas se centra en el diámetro del árbol. Como índice de calidad de la producción, generalmente se favorece más el crecimiento diamétrico que el volumen de madera o el incremento de la biomasa. Los árboles de la mayoría de las plantaciones se plantan muy cerca unos de otros para que todos crezcan y alcancen un diámetro determinado al mismo tiempo. Los árboles excedentes cuestan dinero y compiten por luz, nutrientes y humedad. Sin embargo, su presencia acelera el cierre del dosel, suprimiendo el crecimiento de las malezas. También pueden fomentar el crecimiento de troncos verticales y derechos y dar sombra para que no se desarrollen ramas inferiores. Además, permiten la selección de árboles para la cosecha final.

Efectos del espaciamiento. Bajo la mayoría de las condiciones, el espaciamiento inicial influye en el rendimiento final mucho más que el raleo. Por ejemplo, una plantación sin raleo de *P. taeda* en el sur de EE.UU. con un espaciamiento de 2,4 m x 2,4 m rindió 256 m³/ha a los 34 años en comparación con 306 m³/ha de una plantación comparable con un espaciamiento de 1,5 m x 1,5 m (Wakeley 1969). Sin embargo, los raleos, que abarcaron el 30% de todos los árboles entre los 15 y los 19 años de edad, no tuvieron un efecto significativo en el rendimiento a los 30 años, en ninguno de los dos espaciamientos. Un espaciamiento más amplio es preferible debido a un menor costo inicial.

Con base en las observaciones iniciales sobre los efectos del espaciamiento en el trópico oriental, se obtuvieron las siguientes conclusiones (O'Conner 1935):

- El tamaño alcanzado por un árbol a una edad dada se relaciona con el espacio previamente disponible para su crecimiento; el sitio establece los demás factores que influyen en su tamaño.
- Hasta que los árboles plantados empiecen a competir entre ellos, exhiben un crecimiento estándar absoluto o normal para la especie y el sitio.
- Los árboles plantados a los que se deja crecer sin ralea mostrarán un crecimiento estándar absoluto o normal para la especie, región y densidad de plantación.

El espacio requerido por cada árbol aumenta con su tamaño. Por ejemplo, los árboles de *Shorea robusta*, cuyo dap es de 10 cm, necesitan sólo un espaciamiento triangular de 2 m para asegurar un libre crecimiento (Suri 1970b). Las necesidades durante el crecimiento de *Shorea robusta*, *A. chinensis* y *Tectona grandis*, una especie muy exigente de luz, aparecen en el Cuadro 7-24.

Dos plantaciones de *E. camaldulensis* en Israel demuestran el efecto del espaciamiento inicial sobre los rendimientos (Karschon 1960). El rodal con el espaciamiento más amplio mostró una superioridad pronunciada en calidad del rendimiento, aún a una edad temprana (Cuadro 7-25).

Cuadro 7-24.—Espaciamiento requerido en metros para un crecimiento libre de tres especies de árboles tropicales, con base en el dap

Dap (cm)	<i>Anthocephalus chinensis</i>	<i>Shorea robusta</i>	<i>Tectona grandis</i>
10	2.0	3.5	9.4
20	4.1	5.1	11.0
30	5.7	6.7	12.3
40	6.5	7.6	13.8
50	— ^a	8.9	15.4
60	— ^a	— ^a	17.0

Fuente: Fox 1968b, Suri 1970b.

^aDatos no disponibles.

Cuadro 7-25.—Espaciamiento de *Eucalyptus camaldulensis* y calidad de árbol resultante en Israel

Espaciamiento (m)	Edad (año)	Idoneidad de la madera (%)		
		Postes	Postes y pulpa	Astillas (Chips)
2 m 2	8	2	57	41
3 m 3	6	6	80	14

Fuente: Karshon 1960.

Donde el objetivo principal es la biomasa, y no el tamaño del árbol, los rendimientos más altos deben coincidir con la culminación del crecimiento en área basal. En parcelas de pinos de Queensland, Australia, espaciadas para permitir un crecimiento libre, el crecimiento anual del área basal en plantaciones de 1360 árboles por hectárea culminó entre los 11 y 13 años (Tris 1956). Con 620 árboles por hectárea, culminó entre los 13 y 16 años, y con 320 árboles por hectárea, entre los 16 y 19 años.

La relación diámetro de copa/dap afecta el crecimiento del árbol, y es parcialmente definida por el espaciamiento. Esta relación ha sido positivamente demostrada en ensayos de espaciamiento de *P. elliotii* (Harns y Collins 1965). Los eucaliptos no toleran que las copas se mezclen, y por lo tanto, la razón diámetro de copa/dap constituye un índice del espaciamiento que los eucaliptos necesitan (Lane-Poole 1936). Se ha derivado una razón de 18 para muchas especies de *Eucalyptus*, lo que sugiere que una densidad completa corresponde a las cifras que se indican en el Cuadro 7-26.

Cuadro 7-26.—Número de árboles de *Eucalyptus* por hectárea, en función del diámetro de copa/dap

Dap (cm)	No. de árboles por hectárea	Área basal (m ² /ha)
10	1,950	16
20	600	19
30	290	21
40	170	22
50	110	22
60	80	22

Fuente: Lane-Poole 1936.

Estudios en la zona templada con *P. banksiana* y *Populus tremuloides* confirman que el traslape de copas afecta el crecimiento (Bella 1969). Usando razones de diámetro de copa/dap de árboles en campo abierto como control y midiendo la influencia de la competencia en árboles que crecen en un ambiente cerrado (sumatoria de la zona de traslape de árboles que compiten entre sí) Bella determinó que el traslape es responsable del 70% de la variación en el crecimiento del área basal por árbol.

Los estudios han establecido un rango natural de razones de diámetro de copa/dap para muchas especies (Sandrasegaran 1966a): *E. robusta*, de 17 a 19; *E. grandis*, de 17 a 26 (la parte inferior del rango para árboles grandes con 60 cm dap); *E. saligna*, de 18 a 26; *Swietenia macrophylla*, de 18 a 21; *C. arborea*, de 18 a 32; *T. grandis*, de 22 a 30; y *Maesopsis eminii* (muy exigente de luz), de 36 a 39.

A medida que una plantación de edad uniforme crece, la competencia afecta a los árboles de varias maneras (Catinot 1969a). El promedio de crecimiento del árbol decrece; se forman, por lo general, tres estratos arbóreos: dominantes, dominados y suprimidos. Esta estratificación resulta de una disminución diferenciada en la disponibilidad de agua, lo que reduce la transpiración, y por lo tanto, la fotosíntesis (porque los estomas están menos abiertos) y la disponibilidad de H, lo que disminuye la actividad del cambium.

Los minerales disponibles se deben distribuir más estrictamente para una biomasa cada vez mayor; para la nueva madera hay una menor cantidad de componentes disponibles. Estas limitaciones se ven en el desarrollo de cuatro plantaciones de 12 años sin raleo de *P. caribaea* en Puerto Rico (Cuadro 7-27). Aún cuando el

espaciamento de la plantación es uniforme, las variaciones locales del suelo afectan la extensión y la salud de los sistemas de raíces. Estas influencias durante el establecimiento y poco después, antes de comenzar la competencia entre los árboles, afectan significativamente las tasas de crecimiento inicial y el crecimiento de los árboles individuales (Day 1966). El efecto sostenido de una ventaja inicial ha sido demostrado en varios estudios; en una plantación de *Triplochiton scleroxylon* en Nigeria, el 70% de la variación del incremento en área basal por árbol se relacionaba con el área basal del árbol desde el comienzo del período (su ventaja relativa anterior), y sólo el 11% se debía a la proximidad actual de los árboles cercanos (Lowe 1967b). En un estudio comparable de *Shorea robusta*, el 77,5% de la variación diamétrica se explicaba por su tamaño inicial (Suri 1970a).

La altura del árbol a una edad dada, una medida estándar de la calidad del sitio, no es afectada esencialmente por el espaciamento de los árboles. Esta suposición es generalmente cierta en plantaciones con espaciamentos anchos pero no con espaciamentos estrechos. Un estudio de *P. elliottii* en EE.UU. mostró que en una plantación sin raleo, la altura del árbol después de 11 años aumentó debido al espaciamento (Harns y Collins 1965). A los 14 años, el promedio en altura de los árboles dominantes y codominantes fue de 12,2 m con una densidad de 2470 árboles por hectárea y 9,8 con una densidad de 14 820 árboles por hectárea (Collins 1967).

Razones para raleo. El raleo se hace para lograr lo siguiente (Fraser 1965):

- Acelerar el crecimiento en diámetro (acortar la rotación).
- Aumentar el porcentaje de árboles que alcanzan la madurez.
- Mejorar la calidad de la madera (Fig. 7-5).
- Obtener rendimientos intermedios.
- Aumentar la penetración de la luz para desarrollar copas más grandes.
- Aumentar la temperatura del piso forestal para acelerar la descomposición.

Cuadro 7-27.—Efecto del espaciamento en *Pinus caribaea* de 12 años no raleado en Puerto Rico

Espaciamento medio triangular (m)	No. de árboles por hectárea	Dap medio (cm)	No. de fustes/m ³
1.6	4,090	15.0	6.3
2.7	1,370	24.1	2.6
3.5	840	27.8	1.6
4.3	550	29.3	1.5

Fuente: Whitmore y Liegel 1980.



Fig. 7-5.—El raleo de *Araucaria angustifolia* en el norte de Argentina deja los mejores árboles para la cosecha final.



Fig. 7-6.—Un raleo temprano en plantaciones de pinos para postes permite que entre suficiente luz a través del dosel para mantener una cobertura herbácea que protege el suelo.

- Aumentar las corrientes internas de aire.
- Reducir la humedad.
- Fomentar el desarrollo de raíces.
- Mantener la cobertura herbácea para controlar la erosión (Fig. 7-6).

Existen muchas evidencias de que el raleo acelera el crecimiento diamétrico. Por ejemplo, una plantación de *E. deglupta* raleado al 60% a los 3,5 años tuvo un año después un incremento diamétrico promedio del 18% en relación con la plantación sin raleo (Ugalde Arias 1980). Pero los raleos generalmente reducen el crecimiento en volumen; por consiguiente, cuando el producto deseado es la biomasa utilizable (lo usual en la mayoría de las plantaciones de *Eucalyptus*), el raleo puede producir efectos contrarios a los deseados. El espaciamiento de plantaciones para aumentar la biomasa debe ser lo suficientemente amplio como para permitir que los árboles alcancen el tamaño de cosecha, sin raleo. El espaciamiento puede ser de 2,5 a 3,0 metros, y los árboles se cosechan entre los 5 y 12 años la primera cosecha, y luego cada 6 u 8 años. Es posible que los árboles genéticamente mejorados puedan alcanzar mucho antes el tamaño para pulpa.

Además de acelerar el crecimiento del diámetro, el raleo puede ofrecer beneficios económicos. Los productos

intermedios, si son comerciales, pueden cubrir los gastos que la plantación acarrea (Fig. 7-7). El crecimiento más rápido que resulta de ralear debería reducir el plazo de la rotación. La calidad y el precio de venta de la cosecha final deberían estar muy próximos al máximo.

La experiencia con los raleos en condiciones locales debería revelar los costos y beneficios de prácticas alternativas. Cuando esta información se conoce, quien maneja la plantación puede planear un cultivo equilibrado, seleccionando la combinación óptima de



Fig. 7-7.—Los raleos para la producción de madera para pulpa proporcionan una ganancia parcial rápidamente que amortiza las inversiones.

espaciamentos, desmalezados, podas, raleos, rotaciones y rendimientos.

El producto final deseado afecta las prácticas de raleo, según se desprende de los estudios con *P. resinosa* en EE.UU (Lundgren 1981). El área basal residual óptima, sin tomar en cuenta el producto, resultó ser de 28 a 32 m²/ha. Para una biomasa utilizable y máxima, la cantidad óptima de árboles fue de 3950 árboles por hectárea. Para el volumen utilizable de madera en rollo, fue de 1970 a 2470 árboles por hectárea, y de 500 árboles por hectárea para madera aserrada.

Los principios del raleo que se desarrollaron hace muchas décadas en la India todavía están vigentes (Singh 1955). Estos principios requieren que el enfoque se centre en la cantidad de árboles que quedan, no en la cantidad de árboles que se eliminan, en que las copas de los árboles restantes queden libres y en el tamaño de los claros abiertos.

El resultado de las experiencias de raleo en África del Sur fue el desarrollo de dos coeficientes como base de los regímenes de raleo (O'Conner 1935). El coeficiente de supresión es el cociente del volumen de cualquier árbol, dividido por el volumen de un árbol de la misma edad que crece libremente en el mismo sitio. El coeficiente de reacción es el cociente de crecimiento de un árbol después del raleo, dividido por el de un árbol comparable no raleado. Con estos coeficientes para las distintas edades de árboles y condiciones de crecimiento es posible determinar:

- el mejor espaciamento para el crecimiento de árboles de cualquier tamaño
- el mejor espaciamento y rotación para obtener una producción máxima en volumen, sin tomar en cuenta el tamaño del árbol
- los efectos relativos de las distintas intensidades de crecimiento del árbol y del rodal
- un régimen de raleo para la producción de árboles de cualquier tamaño maduro.

Para mantener un crecimiento diamétrico rápido y simultáneamente usar el sitio para una producción óptima, se deben decidir tres cuestiones básicas en cuanto a los raleos: la época en que se debe ralear, el

número de árboles que deben permanecer y la naturaleza de los árboles con que se ha de quedar.

Cuándo ralear. Una plantación no se debe ralear demasiado pronto para no favorecer el crecimiento de malezas ni la ramificación de los árboles. Por otra parte, si la plantación es tan densa que el crecimiento diamétrico se ha reducido, el raleo no es capaz de recuperar tales pérdidas. A medida que los árboles crecen y requieren más espacio, el raleo debe ser repetido, dejando progresivamente una menor cantidad de árboles.

Es posible que un raleo temprano favorezca la vida de una plantación. Si se lo efectúa antes que la competencia sea severa, el raleo puede prevenir un desequilibrio perdurable entre el sistema radicular y la copa de los árboles (Day 1966). Esta idea es la que sustenta el raleo de los pinos en el sur de EE.UU cuando las copas de los árboles dominantes y codominantes apenas alcanzan entre el 35 y 40% de la altura total (Wakeley 1954). *E. deglupta*, una especie de crecimiento rápido y exigente de luz, se raleó al segundo año de vida, y se obtuvieron 22 m³ /ha, de los cuales 6 m³ correspondieron a postes (Rappard 1951).

El raleo temprano resulta en una tasa máxima de crecimiento inicial, pero además en una disminución rápida del crecimiento (Assman 1970). El crecimiento de los rodales raleados muy al inicio puede ser sobrepasado por los rodales raleados más tarde y menos intensivamente, lo cual produce un menor crecimiento inicial pero un período de crecimiento más largo.

El raleo temprano fue particularmente importante con especies de crecimiento muy rápido, tales como *Ochroma lagopus*. En Malasia, cuando se plantó *O. lagopus* con un espaciamento de 4,3 m x 4,3 m y no se raleó, sólo el 45% de los árboles alcanzaron una tasa de crecimiento diamétrico de 9,7 cm/año en el primer año, 13% en el segundo, y ninguno en el tercero (Wycherly y Mitchell 1962).

Estudios de raleo de *P. caribaea hondurensis* en Queensland, Australia, mostraron que a medida que el área basal en pie aumentaba (hasta 60 m²/ha), el crecimiento del área basal también aumentaba, lo que quiere decir que el raleo no reporta beneficios al volumen total de producción (Anderson *et al.* 1981). Sin embargo, se sugirió que un sólo raleo pre-comercial a

Cuadro 7-28.—Regímenes de raleo para especies de árboles tropicales de 15 años, con base en la relación diámetro de copa y dap

Dap (cm)	No. de árboles por hectárea ^a		No. de extracciones por ha	
	Coníferas y eucaliptos	Otros	Coníferas y eucaliptos	Otros
15	1,300	1,100	740	760
30	560	340	310	190
45	250	150	250	70
60	0	80	0	80

Nota: para un espaciamiento triangular, divida el número de árboles por hectárea por 0.866 y aumente las extracciones de acuerdo con el resultado.

^aEspaciamientos de plantación deseables: coníferas y eucaliptos, 14 x dap; otros, 18 x dap.

una edad de cinco años, aproximadamente, hasta dejar 750 tallos por hectárea, puede tener otros valores, como la eliminación de los peores árboles, una mayor resistencia contra los vientos y una tasa de crecimiento acelerada, reduciendo el rendimiento final sólo en un 10%. Se espera que la mortalidad sea muy poca antes que los bosques alcancen 70 m²/ha, coincidiendo con la edad de rotación.

Cuántos árboles dejar. El espaciamiento deseable para una plantación se puede derivar a partir de las características del diámetro de copa con fustes de distintos diámetros. El diámetro de copa de tales árboles, un índice aproximado de su potencial de fotosíntesis, está estrechamente relacionado con el dap. En coníferas y eucaliptos, el diámetro de copa es casi 14 veces mayor que el dap; en la mayoría de las especies tropicales debe ser casi 18 veces mayor. Estas relaciones sugieren un área basal máxima de casi 40 y 24 m²/ha, respectivamente, con espaciamientos cuadrados. La intensidad de raleo para dejar espacios adecuados para las copas entre raleos cada 15 años, en plantaciones con fustes de distintos diámetros se dan en el Cuadro 7-28.

El área basal se ha usado en Trinidad como guía para raleo *P. caribaea* (Lackhan 1976). Cuando no existen mercados para los productos de los primeros raleos, se plantan sólo 1330 árboles por hectárea. Cuando el rodal alcanza un área basal de casi 25 m²/ha, entre los 10 y 15 años, se eliminan 7 m², y otros 5 m² cuando el área basal restante alcanza 26 m²/ha.

Si la intensidad del raleo está guiada por el diámetro de copa, se requiere el área abarcada por la copa necesaria

para sustentar una tasa de crecimiento diamétrico aceptable. Teóricamente, las copas de los árboles deben desarrollarse de tal modo que se complementen unas con otras perfectamente, ocupando el área entera. Eso significa que la máxima cantidad de árboles (antes del raleo), que se podrían acomodar usando un espaciamiento triangular podría ser 10 000 dividido entre 0,866 y multiplicado por el área de copa de cada árbol en metros cuadrados.

Cuáles árboles dejar. La tercera decisión básica se centra en el producto final. Debido a que el raleo generalmente se practica cuando la meta es obtener fustes grandes, limpios y bien formados, los árboles que se deben dejar son aquellos que tienen el potencial de alcanzar los estándares mencionados. Idealmente, se deben dejar los árboles más grandes y más derechos, con espaciamientos regulares. Este tipo de raleo se denomina “por lo bajo”, porque principalmente se eliminan los árboles pequeños. En Trinidad, por ejemplo, en las plantaciones de *P. caribaea* se ralean los árboles moribundos, enfermos o suprimidos; los árboles de copas estrechas, dañados por las copas de árboles cercanos; los árboles de copa ancha y mala forma; los árboles sub-dominantes de copa severamente comprimida y los árboles codominantes cuyas copas interfieren con las de buenos árboles dominantes (Lackhan 1976).

Una técnica ampliamente usada en las plantaciones jóvenes, debido a la facilidad de supervisión, consiste en el raleo mecánico o en hileras; esto es, la eliminación de hileras alternas. Entre árboles jóvenes, el raleo en hileras no elimina tantos árboles con posibilidades como para

Cuadro 7-29.—Diferenciación de *Anthocephalus chinensis* sin raleo en Sabah (dap en cm)

Edad (años)	Espaciamientos			
	3.6 m x 3.6 m		6.1 m x 6.1 m	
	Promedio	Mejores 50 árboles por ha	Promedio	Mejores 50 árboles por ha
4.0	— ^a	— ^a	12.8	19.9
6.0	— ^a	— ^a	19.0	26.5
8.0	14.0	25.5	— ^a	— ^a
11.8	18.0	29.7	— ^a	— ^a

Fuente: Fox 1968b.

^aDatos no disponibles.

impedir la selección posterior de una cosecha de calidad. Cuando la eliminación de hileras alternas es inadecuada en el primer raleo, se pueden eliminar otros árboles de las hileras remanentes. Otro enfoque es establecer un diámetro mínimo de corta y eliminar los árboles de diámetro menor. Se pueden usar cintas de marcado o calibradores fijos para facilitar la identificación.

Un estudio con *P. patula* de seis años de edad en Colombia (Ladrach 1979) mostró que después de un raleo mecánico por hileras, el 50% de los árboles aumentó de 10,4 a 10,9 cm de dap promedio, en tanto que el raleo por lo bajo de árboles individuales seleccionados elevó el promedio del dap de 10,9 a 12,7 cm. Cuatro años más tarde, el raleo por lo bajo mostraba una diferencia a su favor de 1,5 cm en dap.

El raleo por lo bajo automáticamente aumenta el diámetro medio porque se eliminan los árboles más pequeños. Este aumento, desde luego, no refleja el crecimiento. Los datos relativos a *Anthocephalus chinensis* de Sabah (Fox 1968b) (resumidos en el Cuadro 7-29), ofrecen una ilustración espectacular de las ganancias instantáneas provocadas por el raleo. Estos datos muestran que la selección de los árboles más grandes produce un aumento en el diámetro promedio un 50% o más. Los estudios sobre el estímulo al crecimiento deberían establecer relaciones con el diámetro promedio después (y no antes) del raleo. Esta relación con la tasa de crecimiento se encuentra en los datos de plantaciones de 30 años de *Swietenia macrophylla* y *Tarrietia utilis* en Costa de Marfil (Martinot-Lagarde 1961), según el resumen presentado en el Cuadro 7-30.

Estudios efectuados en Kenia con *Cupressus lusitanica* (Pudden 1959) ilustran lo importante que es distinguir entre los efectos del espaciamiento sobre el tamaño de los árboles de cosecha final (gran parte de los cuales son dominantes) y sus efectos en los árboles promedio. Los datos del análisis de regresión, con base en miles de hectáreas de plantaciones, mostraron que el efecto de la densidad del rodal sobre el diámetro o la altura de los árboles de cosecha final era insignificante. Esto pone en duda algunos de los supuestos beneficios del raleo.

Las recomendaciones sobre el raleo en Uganda (Lamb 1968e) se centran en la calidad de los árboles remanentes, y no en las deficiencias de los que se van a eliminar. La forma y la altura de los árboles residuales se

Cuadro 7-30.—Crecimiento diamétrico en relación con el tamaño del árbol para *Swietenia macrophylla* y *Tarrietia utilis* en Costa de Marfil

Porción del rodal	Crecimiento medio anual del diámetro (cm)	
	<i>S. macrophylla</i>	<i>T. utilis</i>
Todos árboles	0.68	0.63
300 árboles mayores por ha	1.02	0.80
150 árboles mayores por ha	1.20	0.96
50 árboles mayores por ha	1.39	1.14

Fuente: Martinot-Lagarde 1961.

consideran más importantes que el diámetro del fuste. La selección de los mejores árboles requiere que se ponderen otras características, como ausencia de curvaturas o torceduras; ausencia de acanalamientos; el tamaño, ángulo y persistencia de las ramas; su aparente inmunidad a los ataques de hongos e insectos y su mayor tamaño en altura y dap, en relación con los cinco vecinos más cercanos. Las plantaciones aisladas que se han raleado una o dos veces usando estos criterios constituyen una posible fuente de semillas de calidad superior.

Generalmente, los árboles por eliminar se seleccionan tanto para mejorar la calidad del cultivo restante, como para obtener un rendimiento inmediato. Por esa razón se dejan los mejores árboles y se eliminan los peores. Los árboles muertos o moribundos (o totalmente oprimidos) se eliminan si son comerciales, pero de otro modo su eliminación es de poco o ningún significado para la productividad futura. Los árboles cuya forma es demasiado pobre para rendir productos primarios, cualquiera que fuese su vigor, generalmente son los que deben eliminarse justo después. Finalmente, los árboles que quedan se deben ralea para liberar a los más prometedores. El grado de intervención debe buscar la relación más favorable entre costo y reducción de la competencia (Schulz y Rodríguez 1966).

Aunque el raleo busca acelerar el crecimiento de los árboles más deseables, el enfoque del raleo por lo bajo no se centra enteramente en este objetivo, debido a que algunos de los árboles grandes menos deseables pueden estar compitiendo con los mejores. Un enfoque ensayado con *P. caribaea* en Puerto Rico es identificar y marcar con pintura un buen número de árboles de cosecha como madera de aserrío (casi 300 por hectárea). Entre los 7 y 9 años, el raleo elimina para postes los árboles adyacentes tan altos o más altos que los árboles de futura cosecha. Se supone que no se necesitará otra liberación, y que los árboles que quedan y que no son competidores ni van a competir en el futuro, se aprovecharán para postes a medida que se los necesite, antes que el dosel se cierre sobre ellos, ya que no interfieren con el progreso de la cosecha final.

Consideraciones económicas. En gran medida, la práctica del raleo está regida por consideraciones prácticas. Los raleos cuestan dinero, e inicialmente pueden rendir tamaños pequeños para los cuales quizás no hay mercado. Las plantaciones donde el espaciamiento es suficientemente amplio como para

evitar raleos pre-comerciales, quizás requieran períodos de desmalezado más largos y especial atención al podado. Los raleos livianos y frecuentes parecen ideales desde el punto de vista del crecimiento diamétrico sostenido y rápido, pero pueden rendir tan poco material utilizable que no son prácticos. Los raleos menos frecuentes, por otra parte, deben ser más severos (dejando el bosque abierto y menos productivo durante el período inmediatamente posterior), o permitir que el bosque se vuelva muy denso, lo que impide un crecimiento diamétrico rápido antes del raleo siguiente.

En Australia, el costo de cosechar *P. caribaea* es casi el doble del costo de producción, así que se pueden esperar ahorros significativos a partir de raleos menos frecuentes y más pesados (Hanson 1966). Por razones económicas, se piensa que el raleo de *P. taeda* para pulpa en EE.UU no ofrece ninguna ventaja productiva; en tanto que los raleos para obtener madera de aserrío sí se consideran beneficiosos, principalmente porque ayudan a acortar el período de rotación (Goebel *et al.* 1974).

En el neotrópico, el raleo no se ha justificado extensamente con base en razones económicas (Wadsworth 1978), y quizás no se generalice hasta que haya una mayor demanda por productos pequeños. La producción actualmente se orienta hacia la fibra (Bryant y Williston 1978). Quizás las metas sociales y económicas se logren mejor si se considera que las maderas de aserrío y contrachapado son productos primarios (de alto valor), y que las maderas para pulpa, tableros de partículas y leña son productos secundarios, por grande que sea el volumen de estos últimos, en comparación con los anteriores.

Efectos del raleo en la madera. Para comprender cómo el raleo afecta las propiedades de la madera es necesario saber cómo estas propiedades se relacionan con la edad, la tasa de crecimiento del árbol y la posición de la madera en el fuste. Por ejemplo, ya hace tiempo se comprobó que la madera de teca con menos de 1,6 anillos por centímetro es débil; la madera más fuerte tiene de 2,0 a 2,4 anillos por centímetro (Limaye 1942).

Los estudios de maderas blandas cultivadas en el Reino Unido han demostrado que la densidad varía con la edad del árbol (Rendle y Phillips 1957). La madera de anillos anchos formados a mitad de la vida es más densa que la de anillos de ancho similar, pero formados a una edad más temprana. La mayor densidad de la madera

más tardía no depende, como se suponía, de que el crecimiento diamétrico declina con el tiempo. Después de una cierta edad, aún los árboles que crecen rápidamente pueden producir madera de densidad bastante mayor; sería engañoso, sin embargo, aseverar que la densidad de la madera depende casi enteramente de la edad del árbol cuando esta se formó.

Según Boyd (1968), la densidad y resistencia de *P. caribaea* en África del Sur aumenta con el tiempo hasta los 22 años. La madera de *P. radiata* formada durante los primeros cinco años puede tener una resistencia de menos de la mitad que la madera formada después de 15 a 20 años. El gran núcleo de madera juvenil en las coníferas de crecimiento rápido tiene un bajo porcentaje de madera tardía, un bajo peso específico, traqueidas cortas, una gran contracción longitudinal y, con frecuencia, veteado en espiral y madera comprimida. Sin embargo, las coníferas, además del *Eucalyptus*, pueden producir a una edad temprana madera de mejor calidad para la fabricación de papel en términos de rendimiento, resistencia al reventado, densidad de la hoja y resistencia al rasgado, que a una edad posterior. El raleo severo de los pinos resulta en una menor densidad de la madera y en traqueidas más cortas. Además, el espaciamiento desigual que resulte del raleo puede causar un crecimiento asimétrico de los troncos.

Boyd indica que los efectos del raleo sobre las angiospermas tienden a ser más variados. Con algunas especies, el crecimiento lento resulta en un peso específico menor, pero para otras puede ocurrir lo contrario. La producción rápida de madera tiende a afectar de forma adversa su uniformidad, textura, estabilidad dimensional, propiedades mecánicas y desgaste. Las propiedades de las maderas de los eucaliptos tienden a variar proporcionalmente con la densidad. La madera de plantaciones de crecimiento rápido tienen una densidad levemente inferior a la de bosques nativos. La madera de eucalipto de crecimiento rápido de Australia presenta serios problemas de manufactura debido a traumas de crecimiento, pero su baja densidad resulta en un secado fácil y buena trabajabilidad en máquina.

Las experiencias con *P. patula* en África del Sur han demostrado varios defectos en la madera de anillos amplios (Villiers *et al.* 1961); entre ellos, contracción longitudinal, textura dispareja, nudosidades, madera comprimida y grano en espiral. Los primeros anillos interiores invariablemente contienen madera de este

tipo, y la posibilidad de reducir el diámetro de ese núcleo es limitada. Un espaciamiento de 2,4 m x 2,4 m resultó en núcleos que sólo eran 2,5 cm más pequeños que los de los árboles en espaciamientos de 3,5 m x 3,5 m. Se dice que el espaciamiento estrecho aumenta el contraste entre la madera del núcleo y la madera tardía.

Aunque las coníferas tienden a tener traqueidas más largas que los árboles de crecimiento más lento, el raleo puede causar aumentos repentinos en la tasa de crecimiento que reducen el largo de las traqueidas en los anillos más recientes (Fielding 1967). La tendencia de las prácticas silvícolas de fomentar copas densas y profundas en las especies coníferas resulta en una mayor producción de madera temprana, y por consiguiente reducen el peso específico de la madera cerca de la copa. Sin embargo, las distintas tasas de crecimiento generalmente tienen poco o ningún efecto sobre el peso específico de la madera del núcleo.

El raleo severo de *P. taeda* en el sur de EE.UU. a los nueve años aumentó el ancho del anillo tres veces durante los siguientes cuatro años, de 0,26 a 0,71 cm (Smith 1968). El porcentaje de madera tardía declinó de 36 a 28%, y el peso específico de 0,45 a 0,42; ambas disminuciones fueron estadísticamente significativas.

Efectos del raleo en el rendimiento. El hecho de decidir, primero, si se debe ralear, y luego cuánto, tiene implicaciones muy importantes para el rendimiento. El administrador forestal debe conocer por anticipado la magnitud y el momento oportuno de los posibles beneficios. Algunas de las formas en que los raleos afectan los rendimientos —y por consiguiente la rentabilidad— se discuten con mayor detalle en el apéndice J.

El número reducido de fustes limita la selección de árboles para la cosecha final y la cantidad y calidad del producto en varias etapas, incluyendo tamaño y ahusamiento del fuste, ancho de los anillos, densidad de la madera, largo de las fibras y características y distribución de los nudos (Wardle 1968).

El raleo se basa en la premisa de que por encima de un cierto límite, el aumento en la densidad del rodal reduce el volumen útil por unidad de área. El diámetro promedio del fuste, el tamaño de las ramas y el ahusamiento aumentan con el espaciamiento. La susceptibilidad a incendios y al ataque de enfermedades e insectos se reducen con el raleo.

El raleo afecta no sólo a los árboles remanentes sino también al sitio. La contribución de la hojarasca al contenido de nutrientes del suelo se relaciona estrechamente con el área basal del bosque, y por consiguiente se reduce proporcionalmente con la intensidad del raleo (Bray y Gorham 1964). El resto de los raleos pueden añadir un gran volumen de carbono al sitio, aumentando la razón del C al N (Wollum y Davey 1975). Es de esperar que con la descomposición de los organismos se agote el nitrógeno, pero esa eventualidad todavía no ha sido evaluada.

Sistemas de raleo. Los sistemas de raleo involucran la intensidad, selección de árboles y evaluación. La intensidad del raleo a menudo se expresa en términos del número o porcentaje de árboles eliminados. El énfasis por lo tanto es en los rendimientos inmediatos. Una clasificación estándar de raleos aplicada extensamente por los ingleses a través de los trópicos (Champion y Seth 1968) es la siguiente:

Clase de raleo	Árboles eliminados
A. Liviano	Moribundos, enfermos y suprimidos
B. Mode-rado	Árboles de la Clase A, más subdominantes defectuosos, árboles látigos y ramificados
C. Pesado	Árboles de la Clase B, más subdominantes y codominantes defectuosos que se pueden sacar sin que quede un claro permanente en el dosel
D. Muy pesado	Árboles de la Clase C, más todos los dominantes y codominantes que se pueden sacar, pero asegurando un rodal de árboles bien espaciados y distribuidos con buenos fustes y copas.

Una medida que refleja tanto los árboles como el área basal eliminada es la razón de raleo de Queensland (Bevege 1972):

$$\text{Razón} = \frac{\text{área basal eliminada dividida entre el área basal inicial}}{\text{(densidad eliminada dividida entre la densidad inicial)}}$$

Esta razón es sensible al tamaño de los árboles eliminados. La eliminación de numerosos árboles pequeños (un gran porcentaje de la densidad) produce un alto denominador en relación con el numerador, y por consiguiente una razón más baja. Bajo las condiciones de Queensland, la limpieza del sotobosque rindió razones de menos de 0,43. Las razones de los raleos por lo bajo convencionales varían de 0,43 a 0,56; de 0,57 a 0,81 los raleos severos por lo bajo y raleos ligeros de las copas, y de más de 0,81 los raleos severos de las copas.

Como refleja el tamaño y número de árboles, el área basal es una mejor medida de la intensidad de competencia entre árboles que el número de árboles; también, es simple de derivar a partir del diámetro de los árboles. Como medida del crecimiento volumétrico del rodal, sin embargo, el área basal no es sensible a la altura de los árboles. El uso del área basal para comparar el volumen de los raleos tempranos y tardíos puede ser distorsionado si los árboles eliminados al principio eran más cortos que los que se quitan luego (Assman 1970). Sin embargo, la altura comercial de la madera de latifoliadas tropicales tiende a fijarse bien temprano en la vida del árbol debido a la ramificación, haciendo que el área basal y el volumen estén directamente relacionados desde entonces.

Sin embargo, si los beneficios principales de los raleos tienen que ver con el aumento en calidad y cantidad de la producción del rodal residual pareciera más lógico clasificar los raleos por el porcentaje de fustes retenidos, en vez de eliminados. Una clasificación propuesta en la India fue la siguiente (Sagreiya 1944):

Clase de raleo	Porcentaje de fustes remanentes
Muy liviano	de 50 a 75
Liviano	de 33 a 67
Moderado	de 25 a 50
Severo	de 11 a 33
Muy severo	de 6 a 25

Los raleos también se han clasificado de acuerdo con la libertad de la copa (Singh 1947, 1960). Esta clasificación se basa en el porcentaje de árboles residuales que tienen copas libres.

La intensidad de los raleos está dictada en parte por la frecuencia; cuanto más largo el plazo tanto más espacio se debe dejar para cada árbol. Para determinar el espaciamiento apropiado, en la India se ha medido el ancho de la copa de árboles de crecimiento libre; para ayudar a ubicar visualmente los puntos en el suelo que se hallan verticalmente por debajo de los bordes de la copa del árbol se usa una plomada (Suri 1970a, 1975). Una vez relacionados matemáticamente el ancho de la copa y el diámetro del árbol, el espaciamiento requerido entre árboles de cualquier tamaño se puede determinar para cualquier crecimiento futuro proyectado. La frecuencia de raleos de *Shorea robusta* y *Tectona grandis* estaba diseñada para mantener un crecimiento de 5 cm dap; entonces, primero se calculó el espaciamiento requerido para una gama de diámetros promedio y luego ese cálculo se redujo un 15% para espaciamientos triangulares (Cuadro 7-24).

Si una plantación de árboles con un dap medio dado es raleada hasta lograr un espaciamiento triangular promedio, según se ve en el Cuadro 7-24, el crecimiento sería bueno hasta alcanzar un dap de 10 cm o más. Las diferencias entre las dos especies reflejan las razones naturales de diámetro de copa/diámetro del fuste de árboles que crecen libremente. *Tectona grandis* tiene una copa grande y necesita un espaciamiento más amplio.

La razón diámetro de copa/diámetro del fuste indica la intensidad de raleo necesaria, pero las razones apropiadas se deben determinar por especie y por tamaño de árbol. Estudios efectuados en Sabah con *A. chinensis*, especie exigente de luz y de crecimiento rápido, comprueban que esto es verdad (Fox 1968b, 1971). Los árboles de 10 cm dap tenían una razón de diámetro de copa a diámetro del fuste de 93, pero de sólo 52 con 20 cm dap; 39 con 30 cm dap, y 28 con 60 cm dap. Sin embargo, se ha descubierto que una razón tan baja como 18 conduce a un crecimiento rápido de la especie en los mejores sitios.

Durante décadas se han buscado guías matemáticas para determinar la intensidad de raleo. Al preparar los Cuadros del rendimiento de la teca para toda la India, Laurie (1938) derivó una fórmula casi lineal para el espaciamiento deseado:

$$S = 0,2472 d - 0,0014 d^2 + 0,8656$$

donde

S = espaciamiento cuadrado medio en metros
 d = diámetro medio de los árboles de cosecha en centímetros

Por consiguiente, el rodal cuyos árboles de cosecha tienen un diámetro medio de 15 cm, por ejemplo, deberían tener un espaciamiento promedio de aproximadamente 4,25 m. Para los raleos, Laurie recomendó que el espaciamiento mínimo fuese casi 1,5 veces el promedio derivado de esta manera; 6,4 en el ejemplo usado. Una fórmula posterior para el espaciamiento que se debería dejar después del raleo, también derivada para la teca, fue $S = 0,2 d + 2,25$ (Takle y Muyumdar 1956). Para el diámetro medio de 15 cm del ejemplo, esta fórmula arroja un espaciamiento mínimo de 5,2 m. El factor de espaciamiento de Matthews (1935) se ha convertido al sistema métrico para derivar las distancias medias entre árboles como guía para el raleo de todas las especies (Burger 1975):

$$D = d \sqrt{\frac{7854}{AB}}$$

donde

D = distancia media entre árboles en metros
 d = dap medio del rodal en metros
 AB = área basal media del rodal en metros cuadrados por hectárea

Para una plantación con un dap medio de 30 cm y un área basal de 20 m²/ha, el promedio de la distancia entre árboles es de 5,95 m. La fórmula es útil para determinar la distancia entre árboles de futura cosecha con requisitos específicos de diámetro y área basal. Por ejemplo, si se desea que un rodal maduro alcance un dap promedio de 50 cm y tenga un área basal de 30 m²/ha, el número de árboles remanentes por hectárea sería de 175, obtenido con base en la distancia de espaciamiento (8,1 m) y un espaciamiento triangular (153 x 1,15). Un número mayor de árboles (para compensar las posibles pérdidas) probablemente requiera la selección de nuevos árboles de futura cosecha y la correspondiente liberación y posible podado.

El factor de espaciamiento de Hart (Hart 1928) se ha usado extensamente como guía de raleo. Se ha designado como "S%" y expresa el espaciamiento triangular entre árboles como porcentaje de la "altura dominante"; o sea, la altura de los 100 árboles más altos

Cuadro 7-31.—Niveles de densidad adaptados a partir del factor de espaciamiento de Hart

S%	Fustes por ha por alturas máximas (m)				Densidad
	10	15	20	25	
10	1,250	556	312	200	Muy ligera
15	1,875	833	468	300	Ligera
20	2,500	1,111	625	400	Tradicional
25	3,750	1,666	938	600	Pesada
30	6,250	2,778	1,562	1,000	Muy pesada

Nota : El factor de espaciamiento de Hart (S%) expresa el espaciamiento medio triangular entre árboles como porcentaje de la "altura máxima"—la altura de los 100 árboles más grandes por hectárea (Hart 1928). Esta adaptación sustituye la altura media de los 250 árboles más grandes (en dap) y usa un espaciamiento cuadrangular en vez de triangular.

por hectárea. El índice estándar de densidad (1,0) es S% = 20. Se han usado variantes de este factor en el Reino Unido, para incluir la altura promedio de los 250 árboles más grandes por hectárea y un espaciamiento cuadrado en vez de triangular (Hummel 1953). Se han derivado varios niveles de densidades usando la modificación del Reino Unido (Cuadro 7-31).

Al usar el factor de espaciamiento de Hart, la frecuencia y la intensidad de los raleos se pueden guiar mediante un porcentaje fijo de árboles que se eliminan en cada raleo. El raleo con base en la altura se ilustra en el Cuadro 7-32, en el cual se supone que los raleos se efectuarán cada vez que los árboles logran un

crecimiento de 2 m de altura y que la densidad residual corresponderá a S% = 20 (Hart 1928, Hummel 1953b). Cuando el raleo se efectúa según el porcentaje de árboles que se han de eliminar, y la densidad máxima permitida es S% = 20, el raleo se puede fijar en 33%, según lo indica el Cuadro 7-33.

El factor de espaciamiento de Hart se ha usado en plantaciones de teca raleadas en Indonesia (Sudarm 1957) y de *E. saligna* en África del Sur (van Laar 1961). Para *P. caribaea* en Surinam, se supone que el raleo derivado del S% ha de declinar con el tiempo (Vincent 1970). El Cuadro 7-34 ilustra una práctica provisional para el sitio #1, comenzando cuando el valor de S% cae entre 20 y 23.

Cuadro 7-32.—Regímenes de raleo según el crecimiento en altura

Altura máxima (m)	Árboles residuales (no./ha)	Árboles eliminados (no./ha)	Porcentaje de árboles eliminados
10	2,500	0	0
12	1,736	764	31
14	1,276	460	26
16	977	299	23
18	772	205	21
20	625	147	19
22	517	108	17
24	434	83	16
26	370	64	15
28	319	51	14
30	278	41	13

Fuente: Hart 1928, Hummel 1953.

Estudios efectuados en Queensland, Australia, con *P. elliotii* y *P. taeda* llegaron a la conclusión que el área basal era una mejor base que el factor de espaciamiento

Cuadro 7-33.—Régimen del raleo eliminando el 30% de los árboles (no./ha)

Altura máxima (m)	Árboles residuales	Árboles eliminados
10.0	2,500	0
12.2	1,675	825
14.9	1,122	553
18.3	748	374
22.4	499	249
27.4	333	111

Fuente: Hart 1928, Hummel 1953b.

Cuadro 7-34.—Factor de espaciamiento (S%) provisional para ralear *Pinus caribaea* en Surinam

Edad (años)	Altura máxima (m)	S% residual (%)	Árboles residuales (no./ha)
6	14.7	29.2	625
9	20.0	26.0	425
14	24.5	25.3	300
20	27.3	24.8	250
30	30.1	0	0

Fuente: Vincent 1970.

Nota: S% = El factor de espaciamiento de Hart (Hart 1928).

de Hart para definir los regímenes del raleo (Robinson 1968). Cuando el raleo se hace por lo bajo, queda una amplia gama de áreas basales en pie que rinden un crecimiento máximo del área basal. Por consiguiente, se puede conseguir una producción de alto volumen, a partir de una densidad menor de lo que generalmente se considera necesario. El objetivo es manejar el rodal en el límite inferior, o justo debajo, de esta gama de áreas basales. Este enfoque quizás haga que se efectúen raleos no comerciales, o que se rebaje la edad del primer raleo comercial.

Los rodales deben mantenerse en o cerca del “área basal límite” sólo cuando quedan los árboles de cosecha final, después de lo cual se puede permitir que el área basal crezca hasta el nivel deseado (Bevege 1972). Los cronogramas de raleo permiten que la densidad del rodal oscile dentro del área basal límite para que el crecimiento del área basal durante el intervalo del raleo esté cerca del máximo. Un ejemplo sería permitir que el

área basal acumule hasta el 110% del nivel límite y luego ralear hasta un 90% de ese nivel. El área basal límite parece ser independiente de la edad, pero para *P. elliottii* en Queensland varía directamente con el sitio (Cuadro 7-35).

Selección de árboles. El enfoque natural para la selección de árboles que se deben ralear sería dejar los que parecen más prometedores. Sin embargo, la identificación de los árboles más prometedores puede requerir una pericia mayor de la que generalmente se halla disponible, así que la selección sistemática de árboles merece consideración.

El raleo sistemático -la eliminación de árboles por su ubicación en vez de su calidad- fue tan satisfactorio como el raleo selectivo de *Araucaria angustifolia* en Misiones, Argentina (Cozzo 1958). Parte de una plantación de ocho años con un área basal de 22 m²/ha se redujo a 20 m² mediante un raleo selectivo; otra parte se redujo a 17 m² mediante un raleo sistemático. Seis años más tarde ambos tratamientos tenían un área basal de 42 m²/ha, indicando que el raleo sistemático había producido un crecimiento del área basal de más del 14%. El promedio del diámetro también fue 1 cm mayor para el raleo sistemático que para el raleo selectivo. No se debe concluir, sin embargo, que el raleo sistemático es mejor, pero sí que quizás produce resultados tan buenos como los del raleo selectivo y por consiguiente quizás sea más práctico bajo ciertas circunstancias. Tales circunstancias parecen existir en plantaciones donde la supervivencia es grande, las hileras están bien diseñadas, la forma del árbol es buena y existe una gran cantidad de buenos árboles para futura cosecha. El raleo en hileras de *P. taeda* de 14 años en el sur de EE.UU. fue superior al del raleo selectivo simplemente porque era mucho más fácil de aplicar (Grano 1971).

Cuadro 7-35.—Efectos del sitio en el crecimiento en área basal de *Pinus elliottii* en Queensland, Australia

Índice del sitio ^a	Área basal límite (m ² /ha)	Crecimiento máximo del área basal (m ² /ha/año)		
		10 años de edad	20 años de edad	30 años de edad
15	21.6	1.4	1.0	0.5
21	27.1	3.1	1.3	0.8
27	32.7	3.8	1.7	1.0

Fuente: Bevege 1972.

^aEl índice del sitio se define localmente mediante la altura de los árboles a una edad dada.

El espaciamiento triangular se puede adaptar para facilitar el raleo en hileras (Wong 1966a). La distancia entre hileras finales debe ser 0,866 veces el diámetro final de copa, y el espaciamiento dentro de las hileras finales debe ser igual al diámetro final de copa. Si por ejemplo, el dap final de los árboles de cosecha debe ser 0,6 m y la razón diámetro de copa/diámetro del fuste es 20, el diámetro final de copa debería ser 12 m. Esta cifra multiplicada por 0,866 arroja un espaciamiento entre hileras de 10,4 m; dentro de las hileras, el espaciamiento debería ser de 12 m, para un espaciamiento final de 10,4 m x 12,0 m. El espaciamiento inicial podría ser un cuarto de estas distancias (2,67 m x 3,0 m), permitiendo que el raleo temprano sea sistemático y el tardío, selectivo.

Los raleos selectivos por lo general se efectúan por lo bajo; esto es, se eliminan los árboles de peor desempeño (el crecimiento más lento) y que muy probablemente continuarán siendo sobrepasados por los árboles más grandes. Normalmente, se espera que la eliminación de árboles suprimidos y dominados aumente el crecimiento de los árboles residuales, porque los que se eliminan son árboles que respiran mucho (Assman 1970). El resultado es una estructura más uniforme en el rodal. Sin embargo, en plantaciones que tienen un estrato superior muy irregular, o que son tan jóvenes que sólo los árboles grandes son comerciales, existen razones para efectuar el raleo "por lo alto". Tales raleos tienen una mayor influencia en el área basal que el por lo bajo. En plantaciones de primera generación, la variación en la calidad de los árboles es tan grande que conviene seleccionar con base en la forma, eliminando a los árboles mal formados, sean grandes o pequeños.

En un estudio de *P. taeda* en el sur de EE.UU., plantaciones de 20 años se han raleado a 16, 20 y 23 m²/ha del área basal, algunas por lo bajo y otras por lo alto (Bassett 1966). Los rendimientos a los 35 años fueron casi los mismos en volumen y calidad para ambos tratamientos. El raleo por lo alto dejó sólo entre 40 y 54% de los dominantes o codominantes, en comparación con 98 a 100% en las plantaciones raleadas por lo bajo. El raleo por lo alto resultó en un dap promedio final algo menor, alturas comerciales más cortas y copas más pequeñas, pero ninguna diferencia en cuanto a clase de forma.

Un sistema híbrido de seleccionar árboles de futura cosecha se llama "ecléctico". En las plantaciones que lo

usan, las hileras van en una sola dirección; se seleccionan grupos de árboles dentro de las hileras para asegurar una distribución relativamente uniforme. El sistema original, llamado Sistema Ecléctico Escocés (Scottish Eclectic System), ha sido adaptado y modificado en Queensland y en otras partes. El sistema ecléctico sólo selecciona árboles de cosecha. El grado en que van a ser liberados luego puede decidirse en el mismo momento, pero como un proceso separado.

El proceso de selección de árboles bajo el sistema ecléctico involucra caminar a lo largo de cada hilera de la plantación y seleccionar los árboles de cosecha entre los grupos de árboles próximos (incluyendo los espacios vacíos). Los grupos consisten de cuatro o cinco árboles, dependiendo de la cantidad de árboles por seleccionar (Pudden 1955, Sawyer 1962). Usando el sistema cuarteto, se selecciona temporalmente el mejor árbol del primer grupo de cuatro. Los árboles se eligen por tamaño, altura comercial, rectitud, ausencia de acanalados, cantidad de ramitas pequeñas y ausencia de lesiones. Si el árbol elegido es el número 1, su selección es final, y se pasa al siguiente cuarteto (árboles 5, 6, 7 y 8). Pero si el árbol seleccionado en el primer cuarteto es el número 3, la selección es tentativa hasta poder compararlo con los otros miembros de su cuarteto hacia delante; o sea, los árboles números 4, 5 y 6. Si el número 5 o 6 es superior al 3 (el árbol 4 ya había sido calificado inferior), el mejor de estos dos sustituye al 3 como árbol de selección final; si no, el número 3 queda como selección final, y el siguiente cuarteto comienza con el árbol número 5. Pero si el árbol 5 o 6 es seleccionado, el siguiente cuarteto comienza con el próximo árbol o espacio en línea, y se repite el procedimiento en los cuartetos 1 a 4.

El próximo paso del Sistema Ecléctico Escocés consiste en elegir a los árboles de cosecha a partir de los árboles seleccionados. Casi 150 fustes por hectárea se designan de este modo, los más prometedores con un espaciamiento de 10 m entre sí (MacDonald 1961). Los árboles dominantes que compiten con los seleccionados se marcan para eliminarlos. Entre los árboles más pequeños y próximos al árbol seleccionado, se escogen los más sanos y derechos, los que, si reciben suficiente luz, probablemente seguirán el paso a los árboles del cultivo. Estos seguidores se liberan, eliminando todo árbol más grande o de igual tamaño -aparte de los que se han seleccionado para el cultivo- capaz de competir seriamente con los árboles seleccionados.

Los árboles de cultivo se pueden marcar permanentemente para evitar tener que repetir el proceso de selección. Sin embargo, algunos administradores prefieren efectuar una nueva selección periódicamente para considerar posibles cambios en el vigor de los árboles individuales (Assman 1970).

Otra manera sistemática de liberar a los árboles de cultivo dentro de una plantación se basa en el espaciamiento y diámetro. Hace tiempo, Sagreiya (1946b) propuso la siguiente fórmula para liberar los árboles de cultivo de teca. Si la distancia (en metros) entre un árbol de cultivo y su vecino es menos que la suma de sus dap (en centímetros), multiplicado por 0,12 más 1,2, el árbol que no pertenece al cultivo debe ser eliminado. Por ejemplo, si un árbol de cultivo tiene un dap de 25 cm y su vecino tiene 21, se multiplica la suma de estos dos diámetros (46) por 0,12 y a ese producto se le suma 1,2; el resultado (6,7 m) es la separación necesaria entre los dos. Si el espaciamiento actual es más cercano al resultado de la separación entonces el árbol vecino se debe eliminar.

El número de árboles de cultivo que se debe seleccionar varía con el tamaño de los árboles de cosechas intermedias y final. Si se desean 100 árboles por hectárea para una cosecha final de madera de aserrío, se deben seleccionar el doble de los árboles de tamaño de poste (Assman 1970).

La práctica del raleo en plantaciones de África del Sur ha atraído mucha atención como resultado de las conclusiones alcanzadas por una serie de experimentos (Craib 1939). Esas conclusiones siguen siendo una guía cada vez que un raleo intensivo se considera apropiado. Aunque los rodales de mayor densidad siempre arrojan el promedio total más alto de crecimiento anual, el crecimiento comercial (el que sobrepasa un cierto diámetro del fuste) es más importante (Marsh 1957). Las evidencias de que la producción de árboles pequeños en plantaciones es un desperdicio porque no rinden tantos ingresos, aún cuando son comerciales, llevó a que Craib recomendara raleos más intensos y más tempranos que los tradicionales.

Las investigaciones de raleos de *P. patula* en 20 zonas de África del Sur demostraron que en plantaciones de 3000 árboles por hectárea, los árboles dominantes se suprimían a partir del tercer año de vida (Anón. 1947c). En plantaciones de 1500 árboles por hectárea, la supresión de los dominantes comenzó en el cuarto año;

con 750 árboles, en el sexto año; con 500, en el séptimo año; con 370 en el octavo y con 250 en el noveno. Estos resultados apoyan las recomendaciones de Craib, en el sentido de que se deben efectuar raleos tempranos e intensos.

Más tarde, Craib (1947) concluyó que ni las especies ni los sitios influyen sobre la edad en que comienza la competencia por nutrimentos en un rodal de una densidad dada. Craib sospechaba que aún el clima causaba poca diferencia. También concluyó que a medida que decrece la densidad, aumenta el promedio del diámetro. Este aumento, debido al mayor espacio disponible para el crecimiento, es pequeño durante la etapa juvenil pero aumenta con la edad. A medida que decrece la densidad, la altura promedio aumenta, aunque muy poco; y por último, a medida que decrece la densidad, el volumen total de producción por unidad de superficie terrestre también decrece. El volumen máximo de madera de aserrío generalmente se produce a densidades de 750 a 1250 árboles por hectárea; o sea, con espaciamientos iniciales que varían de 2,7 m x 2,7 m a 3,7 m x 3,7 m. La producción máxima temprana de madera de aserrar proviene de espaciamientos amplios y no cerrados. El objetivo ha sido producir anillos de un ancho uniforme de casi 2,4 cm, sin nudos, que crecen alrededor de un núcleo de madera sin podar de anillos anchos. Aún si la meta es obtener un volumen máximo de madera de aserrar, la mayor parte del rendimiento proviene de los troncos de menor valor.

Craib (1947) además concluyó que cuanto más tiempo se tarda en ralear, tanto mayor es la pérdida del volumen total del crecimiento subsiguiente. Bajo las condiciones del sitio, es probable que la rentabilidad de los rodales raleados intensamente sea mucho mayor que los que se ralean ligeramente. En el caso de *P. caribaea*, recomendó los cronogramas presentados en el Cuadro 7-36.

Hiley (1948) revisó los métodos de Craib, y concluyó que este tipo de raleo temprano anula la opción de seleccionar árboles por su calidad y requiere demasiadas podas; pero en las condiciones de África del Sur, estos no son problemas muy serios. Los raleos prescritos eran tan tempranos que rindieron poca o ninguna madera comercial. Sin embargo, Hiley concluyó que la calidad de la madera no sufre, porque ésta es una función de la edad y no de la tasa de crecimiento.

Se ha defendido la práctica de raleo en África del Sur debido a la falta de mercado para dimensiones pequeñas

Cuadro 7-36.—Cronograma de raleos para *Pinus caribaea* en África del Sur

Edad (años)	No. de árboles residuales por ha	
	Sitio I ^a	Sitio III
0	1,310	740
6	todos	440
8	740	todos
12	490	todos
18	320	todos
20	todos	todos
25	230	todos
30	0	210
35	0	0

Fuente: Craib 1947.

^aLas clases de sitios se definen localmente con base a la altura del los árbol a una edad dada.

(Villiers *et al.* 1961). Defectos de la madera, como una gran contracción longitudinal, textura dispareja, nudosidad, madera comprimida y grano en espiral se presentan siempre en alguna medida, pero ocurren principalmente en el primer núcleo de cinco años de madera juvenil. Espaciamientos de 2,7 m x 2,7 m, en vez de 3,7 m x 3,7 m reducen el diámetro de este núcleo defectuoso a sólo 2,5 cm. Además, el rendimiento más bajo (17%) de los spaciamientos más amplios es compensado por el mayor valor (más del 76%) de la cosecha total a los 40 años.

Una vez que los mercados de madera para pulpa comenzaron a aparecer en África del Sur, cambió el énfasis por los grandes diámetros recomendados por Craib (Johnston 1962). Los rodales de Craib, casi el 65% de los cuales producían madera de aserrar, rendían muy poca madera para pulpa como para abastecer a las fábricas de papel. En los nuevos mercados de pulpa había menos preocupación por el grano en espiral y las nudosidades que por el largo y ángulo de la fibra. El spaciamiento se redujo a 2,1 m x 2,1 para aumentar la selectividad del cultivo final, proporcionar una mayor cantidad de madera para pulpa, reducir el ahusamiento del fuste y el diámetro de los nudos, y ayudar a suprimir la cobertura herbácea. Un spaciamiento más estrecho no reduce la cantidad de madera juvenil, pero simplemente hace que esta se reparta entre un mayor número de árboles (Johnston 1962).

En 1971, otro cambio del mercado hacia árboles más pequeños redujo aún más el spaciamiento y aconsejó raleos más ligeros (Villiers 1971). Una práctica más reciente en África del Sur con *E. grandis* para madera de aserrío y enchapado consistió en plantar árboles con spaciamientos de 2,7 m x 2,7 m, o sea 1370 árboles por hectárea; ralear hasta obtener 750 por hectárea entre los 3 y 5 años, luego hasta 500 por hectárea entre los 7 y 9 años, y por último a 300 por hectárea entre los 11 y 13 años, El plazo de la rotación era de 14 a 30 años (Poynton 1981).

Los estudios de raleos en teca se remontan al año 1900 (Krishnaswamy 1953). La teca no tolera la “fricción” de las copas y es incapaz de mantener un dosel cerrado, a menos que ocurra temprano en su vida (Mirchandani 1941). Normalmente, se desarrolla un sotobosque mixto que no interfiere con el crecimiento de la teca. En buenos sitios en la India, la teca se ha raleado a los 3, 6, 10, 18, 30 y 44 años de edad (Krishnaswamy 1953). Se recomiendan raleos severos. El apéndice J presenta ejemplos de los cronogramas de raleo.

Podas

En los trópicos, la poda de las ramas para mejorar la forma del árbol o la calidad de la madera se ha efectuado más frecuentemente en las plantaciones de coníferas. Otras especies de madera, sea en bosques naturales o plantados, tienden a podarse a sí mismas bajo spaciamientos convencionales, y por lo tanto rara vez requieren un podado artificial.

Para mejorar la calidad de la madera, el podado se debe efectuar antes que los tallos sean tan grandes que ya no sea posible producir madera libre de nudos antes de la madurez. Una buena guía es el diámetro del núcleo nudoso aceptable, generalmente de 10 a 15 cm. Para lograr esta meta se necesita no sólo un podado temprano, sino también un podado progresivo a medida que los árboles crecen en altura y que el diámetro crítico sube a lo largo del fuste. En realidad, el núcleo nudoso puede exceder los 15 cm cuando se poda, debido a la zona de oclusión (cura de la lesión) en el fuste podado (Robinson 1968). Para una poda temprana de *C. lusitanica* en África oriental, se desarrolló un calibrador en forma de “U”, para ubicar el límite superior del núcleo nudoso (Graham 1945).

Para la mayoría de las coníferas del África oriental, el mejor momento para comenzar la poda es entre los 5 y 7 años (Pudden 1955). Con *Cupressus*, se puede comenzar hasta en el segundo año y repetir cada dos años. Los árboles de crecimiento rápido, como *E. saligna*, se deben podar más de una vez al año (Luckhoff 1967). Podados más pesados y menos frecuentes tienden a producir traumas indeseables en la madera de esta especie.

El podado temprano también promueve una oclusión rápida. En África del Sur, el 84% de las lesiones en *P. caribaea* de cuatro años de edad se curan y se cubren totalmente en cinco años, y a los diez años, el 100% (Anón. 1954c). Cuando los árboles se podan a los 15 años, sólo el 30% de las lesiones se curan en cinco años y el 80% después de 11 años.

La época del año en que se poda afecta la rapidez de la oclusión y el rebrote de ramas. En Kenia, una oclusión rápida ocurre cuando el podado se hace justo antes de la estación lluviosa (Anón. 1954i). En Puerto Rico, la ramificación epicórmica de la teca que resulta del podado es más vigorosa en el período de sequía justo antes de que se caigan las hojas (febrero) y es menos vigorosa durante el período de lluvias (agosto) (Briscoe y Nobles 1966). La influencia de la época de poda en la rapidez de oclusión de las lesiones se puede ver en los datos registrados en una plantación de tres años de *C. lusitanica* en Kenia (Anón. 1954i):

Mes de la poda	Meses hasta la oclusión
Febrero	41
Marzo	41
Abril	18
Junio	18
Agosto	25
Octubre	29
Diciembre	40

Debido a que la poda es beneficiosa para los árboles sólo si se permite que estos crezcan un largo período después, los árboles que se han de ralea en poco tiempo no deben ser podados, a menos que sea hasta una altura de 2 m para facilitar el acceso. Podas más altas (y más costosas) deben limitarse a los árboles de cosecha final. Por ejemplo, el podado de *A. cunninghamii* en Queensland, Australia, se ha restringido a 620 árboles por hectárea hasta una altura de 3 m y 400 árboles por hectárea hasta 6,7 m, para un cultivo

final que se espera será de 185 árboles por hectárea (Grenning 1957). Para los pinos en el sur de EE.UU se ha recomendado una poda de 370 a 490 árboles por hectárea (Wakeley 1954).

La intensidad de poda ha sido muy estudiada. Cuando se hace temprano y a más altura, la perspectiva de reducir el crecimiento del árbol es mayor, pero la proporción de madera libre de nudos también es mayor. Hace tiempo se llegó a la conclusión que podar los pinos del sur de EE.UU. rebajando su altura de 10 m a 5 m, promete un gran incremento de ganancias en plantaciones para la producción de madera de aserrar y enchapar (Wakeley 1954).

Comúnmente, se ha podado *A. cunninghamii* hasta una altura de 7 m en Queensland (Grenning 1957), así como otras especies coníferas en África del Sur (Johnston 1962). Aún a esta altura, gran parte de la madera de los árboles maduros de 30 m de altura todavía tiene nudos.

La intensidad de poda generalmente se mide en términos del porcentaje de la altura total del árbol. Un ensayo con *P. elliotii* en Misiones, Argentina, demostró que si se podaban árboles de 5,5 m de altura hasta la mitad de su altura total no se reducía el crecimiento diamétrico durante los siguientes tres años (Molino 1972); y aún podando hasta los tres cuartos de la altura total, no se produjo una reducción significativa. En Kenia, *C. lusitanica* se ha podado hasta el 60% de su altura total, dejando un verticilo por debajo del nivel del 60% (Pudden 1955). El estándar de la mitad de la altura del árbol también se ha usado con *G. arborea* en Monte Dourado, Brasil (Anón. 1979e). Las experiencias en África del Sur sugieren que la guía allí debe ser el promedio de la altura del árbol mismo y no la altura de los árboles dominantes (Sherry 1961).

Las experiencias con *P. elliotii* y *P. patula* en África del Sur demostraron que la poda de hasta un tercio de la copa viva a los 4,5 años causó sólo una pequeña pérdida en el crecimiento del dap, y que esta disminución duró sólo 15 meses (Sherry 1961). *Eucalyptus saligna* es capaz de sobrevivir después de una poda de hasta el 40% de la copa viva, pero la madera puede sufrir traumas, como resultado. Estudios con *P. elliotii* y *P. taeda* en Queensland indican que si se quieren evitar pérdidas significativas en el crecimiento diamétrico, no se puede obtener un núcleo nudoso de menos de 15 cm de diámetro (Robinson 1968). En Kenia se llegó a la misma conclusión, en especies coníferas, con una poda en altura de menos de la mitad (Pudden 1955).

La poda de *Simarouba amara* en Surinam se limitó por la tendencia de esta especie a desarrollar nuevas ramas justo arriba del verticilo más alto que se había podado (Schulz y Vink 1966).

Fishwick (1977a), en un estudio con *P. elliotii* en el sur de Brasil, fijó como estándar primario, el diámetro máximo con corteza del núcleo ocupado por todos los nudos (o muñones de las ramas). Con base en dos diámetros máximos, 10 y 15 cm, aplicó los tratamientos necesarios para intentar mantener las podas dentro de un límite razonable y evitar el podado excesivo de las copas vivas. Según sus conclusiones, el momento oportuno de poda debe estar dictado por el promedio de la altura máxima de los 500 mejores árboles por hectárea. Para confinar los nudos a un núcleo de 15 cm, la primera poda se debe hacer cuando el árbol alcanza una altura de 9 a 10 m (a los 6 o 7 años), podándose hasta una altura de 5 m, y la segunda poda, que también es la poda final, cuando la altura máxima del árbol es de 12 a 13 m, unos dos años más tarde, y se poda hasta una altura de 7 m. Para un núcleo de 10 cm, se necesitarían cuatro podas: hasta 2 m (altura máxima de 5 a 6 m), 4 m (altura máxima de 7 m), 5,5 m (altura máxima de 9 m) y 7 m (altura máxima de 11 a 12 m).

La reacción de las plantaciones a la poda es compleja. Unas pocas observaciones generales provenientes de África del Sur (Craib 1947):

- La poda de copas vivas retarda el crecimiento en diámetro mucho más que el crecimiento en altura; pero eliminar el 25% de una copa vigorosa no tiene ningún efecto sobre el crecimiento diamétrico ni altitudinal.
- La eliminación del 50% de una copa vigorosa tiene un efecto significativo sólo en el crecimiento diamétrico.
- La eliminación del 75% de una copa vigorosa afecta significativamente el crecimiento tanto en diámetro como en altura.
- La recuperación del crecimiento normal es rápida, aún en el peor caso, una vez llegado el cuarto año de vida.
- La pérdida del volumen a causa del podado nunca se puede recuperar.

Se hicieron observaciones parecidas para *P. elliotii* en el sureste de EE.UU. (Bennett 1955). El crecimiento en diámetro disminuyó muy gradualmente después de eliminar casi el 50% de las copas vivas, pero con intensidades del 50 al 90%, la disminución se aceleró. Sin embargo, el crecimiento en altura fue poco afectado por la pérdida de casi el 80% de la copa viva. La evaluación de la reacción durante dos años en una plantación de *A. cunninghamii* podada a los 4,5 años en Nigeria produjo resultados semejantes (Anón. 1961a). *P. patula* en Malawi, podado a los 7,5 años (Foot 1968b) presentó las reacciones de crecimiento resumidas en el Cuadro 7-37).

Las experiencias en África del Sur han demostrado que una poda selectiva crea una desventaja para los árboles podados, en comparación con sus competidores no podados (Luckhoff 1949). La poda selectiva también afecta el crecimiento de árboles de cuatro años más que a árboles de ocho años. Si todos los árboles fueran podados, aún hasta un 75% de sus copas vivas, el crecimiento en diámetro se recupera en dos años; pero con una poda selectiva, la recuperación puede tomar cinco años o más. El efecto de la poda selectiva sobre el crecimiento en diámetro y la recuperación tardía son menores en los sitios pobres.

El efecto perjudicial de la poda en el crecimiento en diámetro se puede reducir si se ralea justo antes de podar (Sherry 1961). En África del Sur, se recomienda que las plantaciones de *P. elliotii* y *P. patula* se reduzcan entre 860 a 980 fustes por hectárea, antes de la primera poda. Después de la poda, el crecimiento radial del fuste fue mayor justo debajo de la rama más baja y decrecía a medida que aumentaba la distancia de la copa. Una poda severa, por consiguiente, reduce el ahusamiento del fuste. El cronograma del podado propuesto para *P. elliotii* y *P. patula* en África del Sur se resume en el Cuadro 7-38 (Sherry 1961).

Estudios con *P. patula* en África del Sur han demostrado que podar hasta los 7 m no aumenta el tamaño de las ramas por encima del nivel de poda -8 a 12 m por encima del suelo (Villiers *et al.* 1961). La poda del 30 al 50% de las copas vivas de *E. grandis* en África del Sur no ha tenido ningún efecto sobre el peso específico de la madera, pero sí impidió que los árboles alcanzaran el tamaño de postes a los diez años de edad (Schonau 1974).

Cuadro 7-37.—Reacción a la poda en términos de crecimiento de *Pinus patula* de 7.5 años en Malawi

Años después de la poda	Crecimiento como porcentaje del control			
	Poda hasta 18% de la altura (control)	Poda hasta 42% de la altura	Poda hasta 57% de la altura	Poda hasta 77% de la altura
Crecimiento en área basal				
1	100	81	52	14
2	100	84	60	21
3	100	96	87	49
4	100	112	126	92
Crecimiento en altura				
1	100	88	82	64
2	100	95	95	81
3	100	101	94	81
4	100	107	99	100

Fuente: Foot 1968b.

Aunque la poda de *C. lusitanica* en Kenia deprimió el dap y el crecimiento en altura, parece que el rodal puede mantener una mayor cantidad de árboles severamente podados que árboles con poda ligera (Pudden 1957b).

La práctica del podado es simple. Donde las ramas son persistentes, todos los árboles se podan a la altura de la cabeza para facilitar el acceso, tan pronto como se pueda sin exceder la mitad de la altura total. Después, los árboles seleccionados se podan repetidamente hasta alcanzar el estándar establecido (Pudden 1955). El raleo generalmente se hace al mismo tiempo, pero la poda se restringe a los árboles más prometedores. Normalmente la poda se hace en forma manual con sierras de podar montadas en varas telescópicas. La poda de la altura final es generalmente menos de la mitad de la altura total. El podado claramente debe parar cuando el tronco deja de ser derecho. La limitación práctica de la poda hasta una altura de 5 a 7 m está dictada por el largo de la vara telescópica. Las ramas podadas no se deben colocar debajo del árbol para reducir el riesgo de incendios. El podado se efectúa a ras del fuste para minimizar el tamaño del núcleo nudoso y para acelerar la oclusión. Se necesita un cuidado especial en el caso de ciertos géneros, tales como *Cupressus* y *Tectona*, para minimizar las lesiones que exponen la madera a los insectos y a la podredumbre.

Rebrotos (“Coppice”)

La capacidad de muchas especies de rebrotar vigorosamente en plantación después de una cosecha hasta una edad avanzada puede minimizar el costo de regeneración y ha llevado a varias formas de manejo de rebrotos. No sólo es este tipo de regeneración más barato, sino que los cultivos de rebrotos son capaces de producir rendimientos más altos más temprano. Experimentos con 13 especies de *Eucalyptus* en Guaraní, Brasil, rindieron de 15 a 33 m³/ha/año de un cultivo de plantones a los siete años, mientras que el primer cultivo de rebrotos rindió de 17 a 42 m³/ha/año a los seis años, (Navarro de Andrade 1939).

Cuadro 7-38.—Cronograma de poda para *Pinus elliotii* y *P. patula* en África del Sur

Altura del árbol (m)	Altura de poda (m)	Copa viva eliminada (%)
4.9	1.8	37.5
7.3	3.7	33.3
9.1	5.5	33.3
11.0	7.3	33.3
12.8	9.1	33.3

Fuente: Sherry 1961.

Las ventajas de los rebrotes se ven claramente con el eucalipto de Mysore, una variedad de *Eucalyptus* cuyas características morfológicas se asemejan a las de *E. botryoides*, *E. camaldulensis*, *E. robusta* y *E. tereticornis*, y que se planta extensamente en la India. Debido a que estas especies se cultivan principalmente para pulpa y leña, la productividad se mide en términos de la biomasa. Con una rotación de ocho años, la plantación ensayada rindió un incremento anual promedio de 19,6 t/ha/año de peso verde (Singh 1967), y de 14,5 t/ha/año a los 14 años. Sin embargo, si la plantación se tala a los ocho años y se manejan los retoños durante seis años, el rendimiento final alcanza un promedio de 20,7 t/ha/año, y la rotación de los retoños alcanza un promedio de 22 t/ha/año.

El manejo de rebrotes fue muy productivo en plantaciones de más de 22 000 ha en Belgo Mineira, Brasil, donde se habían efectuado aclareos por franjas de *Eucalyptus* (Osse 1961). La práctica fue hacer una primera tala a los 8 o 9 años, la cual rindió 210 m³/ha (23 a 26 m³/ha/año). La segunda tala se efectuó siete años más tarde, y rindió 250 m³/ha (36 m³/ha/año). La tercera tala, a la edad de 22 años, rindió 200 m³/ha (29 a 33 m³/ha/año). El rendimiento acumulado fue de 30 m³/ha/año.

Un ensayo extenso de más de mil parcelas de crecimiento en los estados brasileños de Paraíba y Sao Paulo produjeron rendimientos superiores con rebrotes para una gran variedad de rotaciones de *E. alba*, *E. grandis*, *E. rostrata*, *E. saligna* y *E. tereticornis* (Cuadro 7-39). Las tablas de rendimiento ilustran el potencial de producción de madera de *Eucalyptus*, tanto en plantaciones establecidas con plantones como con el manejo del primer rebrote. El IMA del volumen culmina más temprano y es más alto en los retoños, que en el primer cultivo. La diferencia inicial se debe principalmente a la cantidad de tallos y no a las diferencias en diámetro. A los cuatro años, los rodales de retoños excedían al área basal en casi un 25%, exceso que casi desapareció después de los ocho años. A los 14 años, el área basal de los rebrotes fue de 10 a 15% menor que la del primer cultivo y el IMA en volumen declinaba en forma mucho más pronunciada debido a un crecimiento más lento en diámetro.

La producción de retoños se aplica a *Senna siamea* y a *T. grandis* en las plantaciones para leña de Ibadán, Nigeria (Collier y Lock 1940). Establecidas en 1924, estas plantaciones se manejaron durante decenas de años mediante tala y rebrote con rotaciones de diez años.

Cuadro 7-39.—Potencial de producción de madera de *Eucalyptus* spp. en Brasil

Edad (años)	No. de árboles por hectárea		Dap medio (cm)		Incremento medio anual (m ³ /ha/año)	
	Primera cosecha	Primer rebrote	Primera cosecha	Primer rebrote	Primera cosecha	Primer rebrote
Sitio 1 (24–28 m a los 8 años)						
4	1,640	2,170	10.0	9.9	34	36
5	1,340	1,570	12.4	12.4	42	66
8	980	1,340	16.6	13.7	56	65
11	860	1,180	19.1	15.0	56	58
14	790	1,100	20.4	15.9	54	54
Sitio 3 (16–20 m a los 8 años)						
4	1,760	2,580	9.2	8.6	16	28
5	1,430	1,880	11.1	10.8	20	33
8	1,060	1,600	15.0	12.1	26	32
11	920	1,400	16.9	13.4	26	29
14	850	1,310	18.1	13.8	25	26

Fuente: Heinsdijk 1972.

Un ensayo en la India ilustra el vigor de rebrote de *L. leucocephala* (Pathak *et al.* 1981). El incremento anual promedio de la biomasa del tronco y de las ramas por árbol proveniente de plantón a la edad de tres años fue de 1,73 kg, pero esa tasa fue igualada por los árboles de rebrotes en la mitad del tiempo.

La cantidad de cosechas de retoños que se pueden obtener depende de la capacidad de rebrote del tocón. En Ibadán, Nigeria, las plantaciones para leña produjeron en algunas zonas hasta seis cultivos sucesivos de retoños a través de 53 años (King 1966). Pruebas con el eucalipto azul (*E. globulus*) en Madrás, India, mostraron el costo en la reducción del rendimiento producido por rotaciones continuas durante muchos años. Con rotaciones de 15 años, el rendimiento se redujo en 9% a la tercera rotación y en 20% a la cuarta rotación (Krishnaswamy 1957b). En Brasil y África del Sur, la tercera cosecha de *Eucalyptus* es generalmente la última, ya que cada nueva cosecha abarca un menor número de árboles. El mismo diagrama de tres cultivos se propuso para *G. arborea* en Monte Dourado, Brasil (Anón. 1979e).

Una experiencia en Brasil con un cultivo de retoños de ocho años de ocho especies de *Eucalyptus* en Río Claro, indicó que la cantidad de rebrotes había tenido poco efecto sobre el rendimiento (Navarro de Andrade 1939). Dejando un sólo rebrote por cepa, se produjeron árboles con dap entre 21 y 25 cm, y un área basal entre 34 y 70 m²/ha. Cuando se dejaron varios brotes por cepa, se obtuvieron árboles con dap entre 18 y 21 cm y un área basal de 20 a 72 m²/ha.

En Kenia la práctica común con los retoños para leña de *E. saligna* ha sido de raleo hasta que queden dos brotes

por tocón (Dyson 1974). Cuando se dejan tres brotes, se obtiene un rendimiento bruto mayor, pero donde el tamaño de leña es importante, dos brotes son preferibles (Howland 1969). En un ensayo, los tocones se ralearon hasta dejar uno, tres brotes, o se dejaron sin raleo (en promedio 5,5 brotes) y se compararon los crecimientos a los 6^o años (Cuadro 7-40).

Con *E. saligna* en África del Sur, el hecho de dejar dos brotes por tocón puede evitar la disminución en el volumen de producción resultante de una creciente cantidad de generaciones (van Laar 1961). Otro factor que afecta la cantidad de brotes por tocón es la eficacia del cosechado. En Australia el uso de sistemas mecanizados favorece al tocón individual, aún si los rendimientos son inferiores (Carter 1974).

Un tipo especial de rebrote se ha aplicado a *Shorea robusta* en las plantaciones bajo sistema taungya en la India (Huq 1945). El árbol comúnmente arroja varios brotes basales, particularmente cuando está completamente expuesto a la luz lateral. Se encontró que si los rebrotes se cortan a los cinco años, es posible obtener un sólo brote derecho. *Paulownia tormentosa* en Filipinas rebrotó al cortarse el líder de un año de edad, lo que posteriormente da como resultado un tronco muy derecho.

Las experiencias en África del Sur con los retoños de *E. grandis* para cultivos de corta rotación arrojan las siguientes conclusiones (Stubblings y Schonau 1980):

- Para obtener rendimientos altos, la supervivencia inicial debe ser de 95% o más; si es menos, se necesita un replantado inmediato.

Cuadro 7-40.—Efectos del raleo en rebrotes de *Eucalyptus saligna* en Kenia

Índice	Sin raleo	Tres rebrotes por tocón	Un rebrote por tocón
Área basal (m ² /ha)	5.9	5.5	3.6
Volumen por dap ^a (m ³ /ha)			
>5 cm dap.	32.8	34.9	24.6
>10 cm dap.	27.2	31.1	24.1
>15 cm dap.	3.0	2.1	9.6

Fuente: Dyson 1974.

Nota: Edad del rodal = 6.25 años.

^aSin corteza a un diámetro superior mínimo de 5cm.

- Los tocones altos no permiten un buen anclaje de los rebrotes.
- La mortalidad de los tocones es de casi el 5% por rotación, pero aumenta si la tala se efectúa durante la parte más seca del año.
- Los brotes no se deben ralear durante la época de vientos.
- Los brotes se deben ralear en dos etapas; la primera vez cuando la altura dominante es de 3 a 4 m y la segunda cuando la altura dominante es de 7 a 8 m.
- Los brotes que se dejan deben ser dominantes, de buena forma y nacer lo más bajo posible en el tocón.
- Si se elige más de un brote, los diámetros no deben diferir en más de 1 cm. No es posible emparejar brotes con una amplia gama de diámetros.

Un caso especial en el manejo de rebrotes ha sido la producción de puntales (maderos para minas) de *G. arborea* en el este de Nigeria. Casi seis meses después de la cosecha, se quitaron todos menos los mejores tres o cuatro brotes por tocón (Pringle 1950), y seis meses más tarde se dejó uno por cepa. La rotación fue de 10 a 15 años y los cuatro quintos de los brotes que quedaron fueron de la mejor calidad como puntales.

En lo que hoy es Ruanda y Burundi, se ha ensayado un método de rebrotes con estándares (se dejan los árboles superiores después de una cosecha selectiva temprana), usando *E. maideni* y *E. saligna* en sitios demasiado

Cuadro 7-41.—Recuperación después del raleo de *Dendrocalamus strictus*

No. de varas por cepa		
Antes del raleo	Después del raleo	Nuevas varas en 4 años
19	7	20
68	13	45
96	13	64
105	13	45
146	24	96

Fuente: Wilson 1936.

pobres para cultivar bosques altos (Reynders 1963). Los productos se usaron para postes en la construcción de casas y otros usos, incluso leña. El mejor tratamiento de tala dejó entre 200 y 250 estándares por hectárea, los cuales fueron raleados más tarde para estimular una mayor cantidad de retoños.

Manejo de bambúes

La experiencia con el manejo de plantaciones de bambúes ha resultado en unas pocas conclusiones de aplicación a *D. strictus*, de todas las especies de bambú la más importante y de mayor extensión (Dass 1960). La cosecha puede comenzar entre los 8 y 15 años, después de plantadas las semillas de bambú (Singh, S.P. 1973). Esta especie reacciona bien a los raleos severos (Cuadro 7-41). El ciclo de corta varía de 2 a 4 años (Prasad 1948). Los nuevos tallos no se talan y algunos de los viejos se retienen. La vida de esta especie (entre florecimientos) varía por localidad entre 21 y 38 años. Los tallos son adecuados para la producción de pulpa y producen buen papel hasta cuatro años después de haber florecido.

Experimentos en la India con *Dendrocalamus* entre 1934 y 1947 resultaron en las siguientes conclusiones (Krishnaswamy 1956a):

1. Los ciclos de corta de 2, 3 y 4 años produjeron casi la misma cantidad de cañas. El peor desempeño se dio en el ciclo de dos años, que también fue el más costoso.
2. Con un ciclo de corta de tres años, la calidad de las cañas cosechadas y las nuevas no se vio afectada por la intensidad de la tala, la cual varió entre mantener la misma cantidad de cañas viejas y jóvenes, o hasta ocho veces más cañas viejas que nuevas.
3. Con un ciclo de corta de cinco años, no se reservó ninguna caña vieja; la cantidad de los nuevos brotes fue menor y la calidad inferior a la de las zonas donde se preservaron de una a ocho veces más cañas viejas.

Las ventajas de ciclos de corta más largos se hicieron evidentes en estudios de crecimiento posteriores que se efectuaron en la India (Kaul 1963). La cantidad de nuevas cañas por grupo cuatro años después de la tala fue casi el triple de la cantidad en el segundo año. Para 1967, el ciclo de tala era generalmente de 3 a 4 años, y

casi el 66% de las cañas existentes se eliminaban con cada tala (Zakiruddin 1967).

Bambusa vulgaris es otra especie de bambú que se planta comúnmente. La especie presenta dos períodos de crecimiento cada año y las cañas alcanzan su altura total entre 12 y 13 semanas, asumiendo su apariencia normal entre 8 y 9 meses. La primera cosecha parcial se debe hacer a los 6 o 7 años y luego cada 2 o 3 años (Groulez 1966). En el antiguo Zaire, las especies se han plantado a 5 m x 5 m, y producen de 22 a 31 t/ha/año de peso fresco (11 a 16 de peso seco). El rendimiento en celulosa es de 6,6 m x 9,4 t/ha/año, pero bajo condiciones óptimas, la producción puede aumentar hasta en 50% (Maudoux y Abeels 1958).

Bambusa tulda a partir de plántulas madura en 8 a 10 años y permite un ciclo de tala de cuatro años (Prasad 1948). Los tallos de menos de un año de edad no se deben cortar, y se deben dejar al menos seis tallos maduros por cepa. No se deben sacar los tallos con rizomas. Los tocones deben tener menos de 30 cm de altura.

Bambusa arundinaria también se maneja en forma similar (Prasad 1948). Las cañas maduras están listas al quinto año. La tala de selección –el raleo de tallos viejos- es el único método de manejo práctico. La tala de más de la mitad de las cañas perjudica la salud de la cepa y requiere un período de recuperación de varios años. El ciclo de tala es de 3 a 4 años y el ciclo de vida es de 30 a 32 años. La tala debe dejar tocones de no más de 30 cm, evitar la corta de tallos de menos de 18 meses de edad y dejar al menos ocho por cepa, además de los brotes exteriores.

Cosecha

En plantaciones forestales, el crecimiento anual en el volumen de madera utilizable generalmente es pronunciado durante los primeros años y luego se reduce gradualmente, a medida que el dosel se cierra y que los árboles compiten por más espacio, o a medida que el raleo progresivamente reduce el volumen del bosque. El crecimiento volumétrico medio anual - volumen total (más raleos) dividido por la edad- es más lento. La curva del valor de crecimiento medio anual (o la futura rentabilidad financiera) sube más lentamente todavía, pero el mayor valor por unidad de volumen mantiene una curva elevada durante más tiempo.

Las curvas de producción y de rendimiento económico son tan poco significativas que rara vez afectan la decisión de cuándo se deben cosechar la mayoría de las plantaciones. Para las operaciones de celulosa en gran escala, en cambio, sí son significativas, en las que las grandes extensiones involucradas proporcionan un suministro sostenido a una industria muy grande. Aún allí, sin embargo, las fluctuaciones del mercado (o las condiciones sociales temporales) influyen en el momento oportuno y preciso de cosechar, más que el volumen de producción o el retorno por tocón.

Si bien las plantaciones normalmente se cosechan después de culminar el crecimiento volumétrico medio anual, esa cosecha debe efectuarse antes de que culmine el valor de crecimiento medio anual, punto en que la declinación del vigor neutraliza el valor creciente por unidad de volumen debido al tamaño del árbol. Para la producción de pulpa es más posible que el límite sea establecido por factores como el máximo diámetro aceptable para las máquinas de astillar. Para productos más grandes, la capacidad del equipo de aprovechamiento y los costos de extracción son los que determinan el tamaño límite superior.

La tarea de mover el material cosechado hasta un camino accesible durante todo el año forma una parte tan grande de los costos de producción, que se debe explorar la factibilidad de otras prácticas antes de elegir el sitio de plantación. Un equipo mecanizado es casi esencial. Si el terreno y la disposición de la plantación permiten que el equipo sea operado entre hileras, se facilitan enormemente el raleo y la cosecha. De otro modo, se necesitan winches con cables, o con cabrestantes o alguna forma de cordaje suspendido. Estos sistemas operan mejor a distancias relativamente cortas y con grandes volúmenes de alto valor por unidad de superficie.

Rendimientos

Los estándares de rendimiento en volumen, usados generalmente para juzgar el desempeño de las plantaciones en los trópicos, son los registrados con eucaliptos y pinos. Investigaciones extensas en Brasil (Heinsdijk *et al.* 1965) indican que los eucaliptos de primera cosecha en sitios óptimos produjeron, a los ocho años, un IMA en volumen entre 16 y 52 m³ (sin corteza). Un ejemplo se ve en el Cuadro 7-42 basado en plantaciones de Sao Paulo (Simoes *et al.* 1980). Clones de *E. grandis* y *E. urophylla* en Espíritu Santo han tenido rendimientos de hasta 73 m³/ha/año (Rance 1976), y se han registrado rendimientos más altos para clones seleccionados, provenientes de Aracruz, cerca de Victoria, Brasil.

Cuadro 7-42.—Rendimiento en plantaciones de *Eucalyptus* en Sao Paulo, Brasil

Especies	Edad 5 años		Edad 9 años	
	1.5 x 3 m	2 x 3 m	1.5 x 3 m	2 x 3 m
Estéreos/ha/año				
<i>E. grandis</i>	74	69	59	60
<i>E. saligna</i>	68	59	45	42
Toneladas/ha/año				
<i>E. grandis</i>	21	22	17	17
<i>E. saligna</i>	20	19	13	13

Fuente: Simoes *et al.* 1980.

Los rendimientos de diez especies de *Eucalyptus* en Brasil registraron los siguientes promedios: rotación de plántulas, a los siete años = 18,3 m³/ha/año; primer rebrote, entre 7 y 14 años = 17,0 m³/ha/año; segundo rebrote, entre 14 y 21 años = 14,7 m³/ha/año (Ayling y Martins 1981).

Gmelina arborea en Jari, en la Cuenca del Amazonas alcanzó un IMA máximo de 38 m³/ha de madera para pulpa a los seis años; para *E. deglupta*, el rendimiento comparable a la misma edad es de 42 m³/ha. Para *P. caribaea* a los 12 años, ese rendimiento es de 25 m³/ha (Woessner 1980a).

Se han compilado datos sobre los rendimientos de plantaciones de varias especies comunes a través de los

tropicos (Lugo *et al.* 1988). Datos de interés general provenientes de este estudio, organizados por zonas de vida (Holdridge 1947), aparecen en el Cuadro 7-43.

Regeneración

Las plantaciones rara vez se regeneran naturalmente, a excepción de los rebrotes, aunque las plántulas de muchos géneros, como *Gmelina* y *Swietenia*, pueden ser abundantes bajo viejas plantaciones después del raleo. Estos nuevos árboles pueden beneficiarse con la selección natural del cultivo previo, pero tarde o temprano son sobrepasados por la progenie seleccionada y manejada. *Gmelina* y *Swietenia* se han injertado con éxito. El alto costo de las plantaciones exige el uso de existencias de calidad superior.

Cuadro 7-43.—Rendimientos típicos de las especies tropicales en plantación, según las zonas de vida de Holdridge

Temperatura promedio y precipitación anual	Especies	No. de plantaciones	Rendimiento a los 10 años (m ³ /ha/año)	
			Máximo	Promedio
>24° C, 2-4 m	<i>P. caribaea</i>	47	31	22
>24° C, 1-2 m	<i>P. caribaea</i>	89	25	13
18-24° C, 2-4 m	<i>P. caribaea</i>	194	40	25
18-24° C, 1-2 m	<i>P. caribaea</i>	112	38	20
	<i>P. patula</i>	79	40	21
	<i>Eucalyptus grandis</i>	18	21	15
	<i>Cupressus lusitanica</i>	24	21	10
12-18° C, 1-2 m	<i>P. patula</i>	100	33	20
	<i>C. lusitanica</i>	88	24	13

Fuente: Holdridge 1947, Lugo *et al.* 1988.

Las plantaciones se deben regenerar al menos parcialmente con los mejores árboles de las plantaciones existentes. Estos son de adaptabilidad comprobada y, si provienen de fuentes de semillas seleccionadas, garantizan genotipos y fenotipos superiores. La superioridad se encuentra en la tasa de crecimiento, forma, resistencia a enfermedades e insectos y calidad de la madera. La expectativa es que se produzcan mejoras del 50% o más.

La calidad genética puede ser mejorada de varias formas, según lo ilustra el programa de Cuba con *P. caribaea caribaea* (Betancourt-Barroso 1972), iniciado en 1965. En este programa hay estudios de procedencias, selección en masa, selección de árboles superiores, estudios de progenie, reproducción vegetativa de genotipos superiores y huertos clonales de semillas. En el momento en que salió el informe, se habían comparado 11 procedencias, se había seleccionado en masa una zona de 1100 ha de fuentes de semillas y se habían identificado 118 fenotipos superiores. La División Forestal de Trinidad ha estado trabajando en algo similar con *P. caribaea hondurensis* desde 1959 (Lackhan 1976). La propagación vegetativa para huertos semilleros se ha efectuado principalmente mediante injertos.

La selección en masa de plántulas de vivero de *P. elliotii* en Brasil resultó en un crecimiento inicial más rápido en los bosques (Shimizu *et al.* 1977). Se seleccionaron en vivero plántulas de nueve meses a razón de 1:3500. La superioridad en altura aumentó un 45% en el segundo año. Esta ventaja sería importante para reducir el período de desmalezado.

Insectos y enfermedades

En este trabajo no se intenta describir las plagas y las enfermedades de las plantaciones ni prescribir tratamientos. Sin embargo, son importantes. Localmente, los patólogos y entomólogos en las estaciones de investigación agrícola están a la disposición de los forestales en los trópicos. Es posible también que varias publicaciones enlistadas en el apéndice K sean útiles.

En resumen, es evidente que el manejo de la plantación es una obligación necesaria después de efectuar la inversión inicial para su establecimiento. También es aparente que entre las prácticas a elegir existen muchas opciones e intensidades. A pesar de las grandes experiencias obtenidas en condiciones distintas, los silvicultores deben poner a prueba los nuevos proyectos antes de aplicar prácticas que han tenido éxito en otros sitios.

