Apéndice I Ejemplos de Selección de la Rotación

En Trinidad se desarrollaron cuadros provisionales de rendimiento para la teca (*Tectona grandis*) con base en 80 parcelas de dos sitios, con una altura promedio de 26 y 23 m, a la edad de 50 años (Miller 1969b). El incremento medio anual (IMA) decreció con la edad (Cuadro I-1). *Pinus caribaea hondurensis* en Trinidad ilustra bien las tendencias y el incremento medio anual (IMA en el Cuadro I-2; Miller 1969a), el cual aumenta continuamente hasta los 24 o 25 años de edad.

En Java se documentó la tendencia del IMA de *P. merkusii* después de los 20 años de edad (Alphen de Veer 1954). Entre los 20 y 30 años en buenos sitios, el IMA se redujo de 30 a 27 m³/ha/año. En sitios mediocres, el IMA sigue teniendo un pequeño aumento de 20 a 21 m³/ha/año, y en sitios pobres, el aumento es más rápido, de 10 a 16 m³/ha/año. La implicación es que en los sitios buenos, el crecimiento no es sólo mayor, sino que también culmina más temprano que en los sitios pobres.

Las tendencias del rendimiento de *Araucaria angustifolia* se han clarificado mediante el desarrollo de cuadros de rendimiento basados en numerosas plantaciones del Brasil (Heinsdijk 1972). El efecto de la edad sobre el volumen de plantaciones de 1000 árboles por hectárea se muestran en el Cuadro I-3. El IMA ocurre en el año 20, cualquiera que sea el sitio. Sin embargo, las cifras

Cuadro I-1.—Relación de la edad con el crecimiento e incremento medio anual (MAI) de teca (*Tectona grandis*) en Trinidad

Edad (años)	No. árboles/ha	Dap promedio (cm)	Altura promedio (m)	MAI (m ³ /ha/año)
Sitio I				
10	370	21	18	14
20	160	34	22	12
30	100	43	24	11
40	80	51	25	10
Sitio II				
10	480	18	15	10
20	240	27	18	9
30	160	35	21	8
40	120	41	22	7

Fuente: Miller 1969b.

Cuadro I-2.—Incremento medio anual (MAI) de *Pinus caribaea hondurensis* en Trinidad, en función de la edad y calidad del sitio

Edad (años)	No. árboles/ha	Dap promedio (cm)	Altura promedio (m)	MAI (m ³ /ha/año)
Sitio I				
0	1,330			
10	490	23	18	14
15	370	31	23	17
20	300	37	26	19
25	230	44	28	20
Sitio II				
0	1,330			
12	540	23	17	12
18	410	29	21	14
24	320	33	25	16

Fuente: Miller 1969a.

máximas se alcanzan en los sitios buenos y son relativamente más bajas en los sitios pobres. Es interesante notar, que los datos brasileños indican que el IMA culmina aproximadamente a la misma edad para plantaciones ubicadas en buenos sitios, con 600 árboles (14,6 m³) o 1600 árboles por hectárea (928,6 m³).

El potencial de producción maderera de *A. angustifolia* se derivó de plantaciones donde la cantidad de árboles variaba de 3150 por ha a la edad de 8 años, a 730 por

Cuadro I-3.—Tendencias de la edad/volumen (m³/ha/año) en plantaciones de *Araucaria angustifolia* de 1000 árboles por hectárea en Brasil

Edad (años)	Índice del sitio ^a		
	18–22	14–18	10–14
10	14.1	4.9	3.3
15	19.3	9.4	4.5
20	20.7	10.0	4.8
25	20.5	10.0	4.8
30	19.7	9.6	4.6
35	18.7	9.1	4.4

Fuente: Heinsdijk 1972.

^aAltura del árbol en metros a los 25 años de edad.

Cuadro I-4.—Potencial de producción de madera de *Araucaria angustifolia* en Brasil

Edad (año)	No. árboles/ha	Dap promedio (cm)	Producción anual media/ha	
			Madera para pulpa (estéreos ^a)	Madera de aserrío (m ³)
8	3,150	8	10.3	0
11	1,880	11	13.5	0
14	1,400	15	14.7	0
17	1,160	17	14.9	0
20	1,010	19	14.6	0
23	920	20	6.5	5.7
27	830	22	6.0	5.5
31	770	23	5.6	5.3
35	730	24	5.2	5.0

Fuente: Heinsdijk 1972.

^aUn estéreo equivale a un metro cúbico de madera apilada.

ha a los 35 años para el sitio 3 (altura del árbol a los 25 años: 10-14 m. El Cuadro I-4 (Heinsdijk 1972) indica que la producción anual máxima debería obtenerse con una rotación de casi 17 años para madera para pulpa y de casi 23 años para madera de aserrío. Sin embargo, si se desean diámetros más grandes, una rotación más larga aparentemente no significaría una gran mengua en el rendimiento.

Se derivaron cuadros de rendimiento similares para *Cunninghamia lanceolata* en Brasil (Heinsdijk 1972). Las relaciones de edad y volumen para plantaciones de 1000 árboles por ha aparecen en el Cuadro I-5. Otra

Cuadro I-5.—Tendencias de edad/rendimiento (m³/ha/año) en plantaciones de *Cunninghamia lanceolata* de 1000 árboles por hectárea en Brasil

Edad (años)	Índice del sitio ^a		
	22–26	18–22	14–18
10	20.6	14.9	9.0
15	22.9	16.6	10.0
20	22.2	16.1	9.7
25	20.7	15.0	9.0
30	19.1	13.9	8.3
35	17.6	12.8	7.7

Fuente: Heinsdijk 1972.

^aAltura del árbol a la edad de 25 años.

vez, el IMA máximo ocurre aproximadamente a la misma edad, cualquiera que sea la calidad del sitio. Plantaciones de 1600 árboles por hectárea en los mejores sitios también culminan a los 15 años (30,1 m³). La declinación de los promedios de rotaciones más largas parece pequeña, pero el crecimiento anual actual entre los 15 y 20 años arroja un promedio de casi un 15% por debajo del promedio alcanzado hasta ese período.

El potencial productivo de *C. lanceolata*, con base en las densidades actuales de plantación, se demuestra para índices del sitio de 10 a 14 en el Cuadro I-6 (Heinsdijk 1972). Los rendimientos de *C. lanceolata* son mayores que los de *A. angustifolia* (Cuadro I-4), debido a que *C. lanceolata* tolera una mayor densidad de árboles, por lo que a la edad de la madurez se encuentran presentes más del doble de los árboles.

También se prepararon cuadros de rendimientos para *Cryptomeria japonica* en Brasil (Heinsdijk 1972). Las tendencias de la edad y del volumen para una plantación de 1000 árboles por ha se dan en forma resumida en el Cuadro I-7. Como en el caso de *Cunninghamia lanceolata*, el crecimiento medio del volumen anual de *Cryptomeria japonica* puede culminar a los 15 años aproximadamente, o aún más temprano. En plantaciones ubicadas en los mejores sitios con 1600 árboles por ha, el crecimiento también culmina a una edad aproximada de 15 años (25,7 m³).

Cuadro I-6.—Potencial de producción de madera de *Cunninghamia lanceolata* en Brasil

Edad (año)	No. árboles/ha	Dap promedio (cm)	Producción anual media/ha	
			Madera para pulpa (estéreos ^a)	Madera de aserrío (m ³)
8	2,430	11	15.1	0
11	2,160	14	18.3	0
14	2,020	15	19.1	0
17	1,930	17	18.9	0
20	1,870	17	18.3	0
23	1,830	18	6.6	8.1
27	1,790	18	6.1	7.6
31	1,760	19	5.6	7.1
35	1,740	19	5.2	6.7

Fuente: Heinsdijk 1972.

^aUn estéreo equivale a 1 metro cúbico de madera apilada.

El potencial de producción de madera de las plantaciones de *C. japonica*, con índices de 10 a 14 para cada edad para la cantidad de árboles encontrados actualmente en el sitio, se muestra en el Cuadro I-8 (Heinsdijk 1972). Es muy notable la gran semejanza entre *C. japonica* en el Cuadro I-8, y *Cunninghamia lanceolata* en el Cuadro I-6. Una decisión racional para la rotación de cada especie dependería de los datos de rendimiento, así como de información económica sobre tamaño del árbol y costos de establecimiento.

Los cuadros de rendimientos para *Cupressus lusitanica* se han preparado a partir de plantaciones en Piedras Blancas, Colombia (Falla 1968). El resumen del Cuadro I-9 sugiere una rotación de casi 20 años para un

volumen máximo de madera utilizable por unidad de tiempo.

Datos semejantes se han desarrollado para *Eucalyptus*. Los datos de rendimiento de *E. saligna* en el Transvaal, Sudáfrica, (diámetro sin corteza hasta un límite de 7,6 cm) aparecen en el Cuadro I-10 (Kotze 1961). Estos datos sugieren que la rotación para madera de pulpa debería ser de más de diez años, a menos que, entonces, los árboles excedieran el diámetro máximo para las astilladoras.

Un registro de una plantación excepcionalmente vieja de *E. globulus* en los Cerros Nilgiris de la India demuestra la capacidad de los árboles viejos de mantener un crecimiento sostenido (Borota 1965). Los datos del Cuadro I-11 se basan en una parcela de 1,26 ha que a la edad de 91 años, tenía 58 árboles por ha, un área basal de 52 m²/ha y un volumen de 992 m³/ha. Entre los 91 y 99 años, el crecimiento anual del área basal todavía era tan rápido como en el pasado, y el crecimiento en volumen era de 26 m³/ha. A los 99 años, diez árboles escogidos al azar tenían una altura promedio de 72,1 m.

Estudios de nueve especies de *Eucalyptus* en Brasil, con espaciamientos de 2,5 m x 2,5 m demostraron que la producción de madera para leña culmina temprano (Cuadro I-12). Los estudios de rendimiento de *Eucalyptus* más recientes en Brasil establecieron las expectativas de crecimiento en relación con la edad en detalle

Cuadro I-7.—Tendencias de la edad/volumen de plantaciones de *Cryptomeria japonica* (m³/ha/yr) con 1000 árboles por hectárea en Brasil

Edad (años)	Índice del sitio ^a			
	22–26	18–22	14–18	10–14
15	19.7	13.8	9.1	5.3
20	19.1	13.4	8.8	5.0
25	17.8	12.5	8.2	4.8
30	16.4	11.5	7.6	4.4
35	15.2	10.7	7.0	4.1

Fuente: Heinsdijk 1972.

^aAltura promedio del árbol en metros a la edad de 25 años.

Cuadro I-8.—Potencial de producción de madera de *Cryptomeria japonica* en Brasil

Edad (año)	No. árboles/ha	Dap promedio (cm)	Producción anual media/ha	
			Madera para pulpa (estéreos ^a)	Madera de aserrío (m ³)
8	2,680	9	14.6	0
11	2,290	12	17.5	0
14	2,090	13	18.1	0
17	1,960	15	17.8	0
20	1,890	16	17.1	0
23	1,830	17	6.5	7.4
27	1,780	17	6.0	6.9
31	1,740	18	5.6	6.4
35	1,710	18	5.2	6.0

Fuente: Heinsdijk 1972.

^aUn estéreo equivale a 1 metro cúbico de madera apilada.

Cuadro I-9.—Relación edad/incremento para *Cupressus lusitanica* en Colombia

Edad (años)	No. árboles/ha	Dap promedio (cm)	Volumen (m ³ /ha)	Incremento medio anual (m ³ /ha/año)
10	3,350	9.3	119	11.9
20	1,415	22.3	401	20.1
30	610	36.3	496	16.5

Fuente: Falla 1968.

Cuadro I-10.—Tendencias de edad/incremento (m³/ha) para *Eucalyptus saligna* en el Transvaal, Sudáfrica

Edad (años)	Incremento medio anual	Incremento del año próximo
2	12	40
4	27	90
6	53	120
8	71	120
10	81	

Fuente: Kotze 1961.

Cuadro I-11.—Crecimiento basimétrico del *Eucalyptus globulus* en la India

Dap promedio (cm) en 1954 a los 91 años	No. árboles/ha	Crecimiento basimétrico anual (cm ²)	
		Promedio 1863-1954 (0 a 91 años)	Periódico 1954-1962 (91 a 99)
70-94	17.5	61	65
94-117	27.0	94	86
117-144	10.3	146	166
144-180	3.2	216	305
Totales/promedios	58.0	100	106

Fuente: Borota 1965.

Cuadro I-12.—Producción de leña de *Eucalyptus* en Brasil

Edad (años)	Crecimiento (m ³ /ha/año)	
	Promedio	Periódico
6	26.8	41
8	30.4	8
10	26.0	8
12	23.0	10
15	19.8	

Fuente: Guimaraes 1957.

(Cuadro I-13, Heinsdijk 1972). El IMA en todos los sitios culmina a los 12 años de edad. Esto se aplica también en plantaciones con 1800 árboles por hectárea con un índice del sitio de 20 a 24 (48,2 m³).

Un estudio del crecimiento de *E. deglupta* en Papúa Nueva Guinea sugiere los posibles plazos de rotación (Davidson 1968). Árboles con espaciamentos de 4,6 m x 4,6 m crecieron hasta alcanzar un dap promedio de 54 cm y una altura promedio de 44 m a la edad de 15 años (Cuadro I-14). A partir de estos datos, se predice que a

Cuadro I-13.—Tendencias de edad/volumen en plantaciones de *Eucalyptus* de 1000 árboles por hectárea en Brasil

Edad (años)	Incremento medio anual del volumen por índice del sitio ^a (m ³ /ha/año)			
	24–28	20–24	16–20	12–16
4	26.0	17.8	11.8	7.2
6	43.7	29.7	19.7	12.2
8	52.0	35.4	23.4	14.5
10	54.8	37.4	24.7	15.3
12	55.0	37.5	24.8	15.4
14	53.8	36.7	24.2	15.1
16	52.0	35.4	23.4	14.6
18	49.9	32.6	21.6	13.4
20	47.8	32.6	21.5	13.4

^aAltura promedio de los árboles en metros a la edad de 8 años.

Cuadro I-14.—Relaciones de edad/incremento para *Eucalyptus deglupta* en Papúa Nueva Guinea

Edad (años)	Dap promedio (cm)	Altura promedio (m)	
		Total	Fuste limpio
5	22	24	14
10	39	37	23
15	54	44	30

Fuente: Davidson 1968.

los 40 años existirían 49 árboles por hectárea con un dap promedio de 84 cm.

El uso de regresiones múltiples para predecir los volúmenes y el crecimiento ha aumentado enormemente con el procesamiento electrónico de datos. Como ejemplo demostramos la siguiente regresión derivada para los *Eucalyptus* de la India (Chaturvedi 1973, 1976), donde r es el coeficiente de correlación; d es el diámetro y ba el área basal.

1. volumen del árbol sin corteza en metros cúbicos = $0,0201 d^2$ (en centímetros) x altura máxima (en metros) - $0,0015$ ($r = 0,99$).
2. volumen de la plantación (sin corteza hasta 5 cm de diámetro) en metros cúbicos = $0,2869 \times (ba[\text{en m}^2/\text{ha}] \times \text{altura máxima} [\text{en metros}] - 2,5101$ ($r = 0,98$).
3. $\log_{10}$ del incremento medio anual (en m³/ha/año) = $0,628 \log_{10} ba$ (en m²/ha) + $2,467 \log_{10}$ altura máxima (en metros) - $0,997 \log_{10}$ edad (en años) - $4,580$ ($r = 0,97$).

Cuadro I-15.—Relaciones de edad/incremento para *Gmelina arborea* en Filipinas

Edad (años)	Altura total (m)	Incremento medio anual		
		Dap (cm)	Área basal (m ² /ha)	Volumen (m ³ /ha)
4	2.4	2.5	5.0	21.5
6	2.0	2.2	5.7	29.2
8	1.6	1.9	5.6	34.2

Fuente: Nanagas y Serna 1970.

Cuadro I-16.—Relaciones edad/incrementos para *Anthocephalus chinensis* en la India

Edad (años)	No. árboles/ha	Dap promedio ^a (cm)	Área basal (m ² /ha)	IMA ^b (m ³ /ha)
5	551	16.7	7.2	8.1
10	464	23.7	13.4	13.4
15	355	28.5	15.8	13.6
20	279	31.8	16.6	12.7
25	228	34.0	16.9	10.8

Fuente: Singh 1981.

^aPromedio de los 125 árboles con mayores diámetros por hectárea.

^bIncluyendo madera de ramas y de raleos.

Cuadro I-17.—Relaciones edad/incremento de *Casuarina equisetifolia* en la India

Edad (años)	Dap promedio (cm)	Altura promedio (m)	IMA de volumen sin corteza ^a (m ³ /ha)
2	4.3	5.8	
4	8.1	10.7	3.1
6	10.3	14.8	13.3
8	11.2	17.0	16.9
10	12.0	18.4	17.5
12	12.7	19.8	17.5

Fuente: Ray 1971.

^aCon un espaciamiento de 2m x 2m, sin ralear.

Los datos de crecimiento en volumen de *Gmelina arborea* de Cebú, Filipinas, a partir de una parcela de 0,2 ha sin ralear, plantada a espaciamientos de 2 m x 2 m con una precipitación anual de 220 cm aparecen en el Cuadro I-15 (Nanagas y Serna 1970). Sugieren que, bajo estas condiciones, el IMA en área basal y volumen arrojan buenos resultados hasta la edad de 8 años. La práctica inicial con *G. arborea* en Monte Dourado, Brasil era una corta para obtener madera para pulpa entre los 6 y 7 años, y otra a los 10 años para madera de aserrar (Anón. 1979e).

Los cuadros de rendimientos de *Anthocephalus chinensis* en Bengala Occidental, India, indican el efecto que el plazo de la rotación tendría sobre el diámetro del árbol y el IMA en los mejores sitios (Cuadro I-16; Singh 1981).

Cuadro I-18.—Relación edad/volumen para *Pinus elliottii* en Argentina

Edad (años)	Dap promedio (cm)	Altura promedio (m)	Volumen del fuste por árbol (m ³)
5	10.6	5.5	0.02
10	17.2	14.3	0.20
15	26.1	20.0	0.64
19	30.0	23.0	0.98

Fuente: Molino 1972.

Se ha proyectado el crecimiento de *Casuarina equisetifolia* en las colinas arenosas a lo largo de la Bahía de Bengala en la India, en términos de volumen y peso verde, suponiendo una ausencia de mortalidad (Cuadro I-17; Ray 1971). Los rendimientos reales fueron más bajos de los predecidos en el cuadro debido a la mortalidad. Los registros indican un rendimiento de 9,2 m³/ha/año a los 12 años, de los que 8,3 m³ consistían de madera de fuste cuyo diámetro en el extremo inferior era de 20 cm o más. En el 15avo año, el IMA se había reducido a 4,2 m³.

La influencia de la edad sobre el volumen de madera utilizable por árbol, y por lo tanto sobre el costo de manejar los volúmenes de madera prescritos se ilustra con la información de una plantación de *P. elliottii* en Misiones, Argentina (Cuadro I-18; Molino 1972).