

Serie Didáctica Nro. 23

E-Book ISBN 978-987-1676-35-4.

Fecha de catalogación: 19/12/2014.

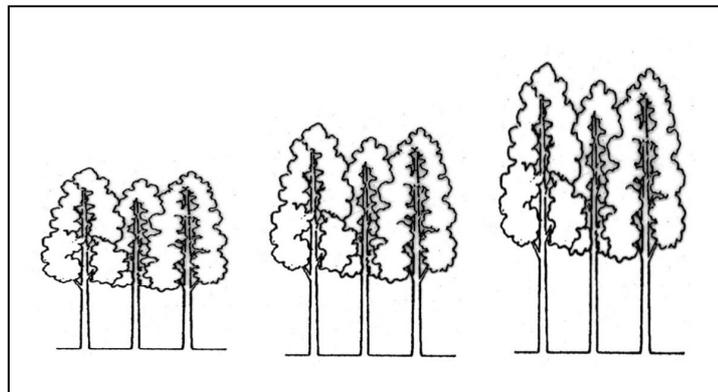
Facultad de Ciencias Forestales

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO



CÁTEDRA DE
ORDENACIÓN FORESTAL

CRECIMIENTO Y PRODUCCION DEL RODAL REGULAR



Marta C. ITURRE
Publio A. ARAUJO

Mayo de 2006

PRÓLOGO

Motivados por la idea permanente de que nuestra tarea docente es la de ser facilitadores del aprendizaje de los estudiantes que cursan las asignaturas bajo nuestra responsabilidad, hemos elaborado esta serie didáctica referida a una de las formas principales de masa forestal, el “bosque regular”.

Convencidos que más importante que saber es comprender, ponemos a consideración de los estudiantes este material que pretendemos ayude a entender los principales temas que sustentan la Ordenación de los bosques regulares.

También queremos dejar en claro a los estudiantes que es necesario consultar los libros de texto u otro tipo de publicación, donde generalmente los autores ponen en su obra el resultado de un trabajo de equipo, que con creatividad y recursos didácticos, consiguen que la lectura sea comprensible y amena. Somos concientes de que aún no alcanzamos ese punto, pero decidimos iniciar ese camino frente a un tema que se encuentra disperso en numerosa bibliografía, a veces en otros idiomas, lo que crea una dificultad al estudiante que tiene limitaciones de tiempo.

Si esta serie didáctica ayuda a comprender los conceptos, facilitando una posterior profundización con la lectura de bibliografía específica, nuestro objetivo se habrá cumplido. La consideramos incompleta y perfectible en sus contenidos y forma. Nos imaginamos que con el tiempo iremos revisando, actualizando y mejorando todos estos aspectos, que seguramente incluiremos en nuevas ediciones.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. CARACTERÍSTICAS DEL RODAL REGULAR.....	5
1.1. Estructura	8
2. CRECIMIENTO.....	9
2.1. Masa principal, masa intermedia y masa total.....	13
2.2. Crecimiento relativo.....	14
3. BOSQUE NORMAL.....	17
4. BOSQUE NORMAL Y BOSQUE ORGANIZADO	19
5. TIPOS DE ORGANIZACIÓN DE LAS MASAS REGULARES	20
5.1. Serie de Rodal Único.....	21
5.2. Serie Graduada de Rodales Iguales.....	22
5.3 Serie Ordenada de Rodales Iguales.....	24
6. PRODUCCIÓN.....	26
7. CALIDAD DE SITIO Y PRODUCTIVIDAD.....	28
7.1 Función de Crecimiento	29
7.2 Clases de Productividad	30
7.3 Función de Productividad	30
7.3.1 Método de la curva guía	30
7.3.1.1 Método Gráfico	30
7.3.1.2 Método Analítico	32
8. TABLAS DE PRODUCCIÓN	34

9. APLICACIONES PRACTICAS	37
9.1. CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN	38
9.2. CALIDAD DE SITIO	43
9.3. TABLAS DE PRODUCCIÓN	49
9.4. CRECIMIENTO EN PRECIO (Crecimiento en calidad)	54
9.5. ORDENACIÓN	61
9.5.1. METODO DE DIVISION DE SUPERFICIE	62
9.5.2 APLICACIÓN DEL METODO DE DIVISION DE SUPERFICIE	63
9.5.3 FORMACIÓN DE TRAMOS CON DISTINTA CALIDAD DE SITIO	67
9.5.4 CALCULO DE LA POSIBILIDAD	73
10. BIBLIOGRAFÍA	75

CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DEL RODAL REGULAR

Marta C. Iturre¹
Publio A. Araujo²

1. CARACTERÍSTICAS DEL RODAL REGULAR

Los árboles que se originan en un corto período de tiempo forman una masa que se puede clasificar como *regular* cuando al menos el 90 % de los individuos puede incluirse en una sola clase de edad. El límite de la clase de edad varía dependiendo del tiempo en que se consigue la regeneración. Un caso particular es cuando la clase de edad es de un año, como en las plantaciones.

Generalmente las clases artificiales de edad tienen una amplitud entre 10 y 20 años. Por otra parte, un bosque regular puede estar constituido por numerosos rodales regulares, los cuales tienen diferentes clases de edad.

En los textos y manuales de *Dasometría* y *Silvicultura* se incluyen los conceptos de masa regular y de masa irregular, explicándolos no sólo como modelos de distribución de edades, sino completando la definición con la distribución de frecuencias de número de pies por clases diamétricas.

La dificultad de conocer las edades de cada uno de los árboles que constituyen la masa, salvo en el caso de plantaciones, conduce a que se reemplace la escala de edades por la de diámetros normales, proponiéndose como modelo de distribución diamétrica de las masas regulares la curva normal o campana de Gauss.

En las masas regulares los árboles, generalmente de especies heliófilas, han nacido en un corto espacio de tiempo (Husch, 1963). Asimismo, en las masas regulares la regeneración se logra durante el espacio de tiempo, más o menos largo, en el que se elimina el dosel de copas mediante las cortas (Matthews, 1989).

En todas las definiciones no existe referencia a la superficie que ocupa la masa, salvo Husch (1963), que define a las masas con clases de edad diferentes como partes constitutivas del bosque regular.

¹ Ing. Forestal Jefe de Trabajos Prácticos de Ordenación Forestal

² Dr. Ing. Forestal. Profesor de Ordenación Forestal

En la Silvicultura y Ordenación europea, la última directiva francesa desarrollada en el "Manuel d'Aménagement", 3ª edición, (OFFICE NATIONAL DES FORETS, 1989) revisó las definiciones y conceptos proponiendo las siguientes:

- **Estructura regular (en sentido estricto):** todos los árboles de la parcela son de la misma edad o su rango de edades es del orden de tiempo en que se consigue la regeneración natural.
- **Estructura regular (en sentido amplio):** todos los árboles de la parcela tienen unas edades cuyo rango no supera la mitad de la edad de cortabilidad de la especie principal.

Lo más destacable de ésta nueva clasificación es la consideración de dos escalas, en sentido estricto y en sentido amplio, y se puntualiza que la masa regular con pies de la misma edad es un caso excepcional.

Para la definición de las formas principales de masa se entenderá que las clases artificiales de edad han de comprender un número de años igual o inferior a 20 años o la cuarta parte del turno.

En general se considerará que una masa es regular cuando su vuelo se halle distribuido por edades en superficies distintas, de tal manera que, en cada una de ellas, al menos el 90 % de sus pies pertenezca a la misma clase de edad.

Al respecto se pueden hacer las siguientes reflexiones:

- a) Se acota el rango de la clase artificial de edad con un mínimo de 20 años y un máximo de la cuarta parte de turno de la especie principal.
- b) En cuanto a las superficies sobre las que se asientan las distintas formas principales de masa se hace referencia al cuartel.

Tratando de recoger los diferentes matices conceptuales de las definiciones y de tener en cuenta casos no considerados, Madrigal (1994) propone la siguiente clasificación de formas principales de masa:

- *Masa coetánea*, cuando al menos el 90 % de sus pies tienen la misma edad individual.
- *Masa regular*, cuando al menos el 90 % pertenecen a la misma clase artificial de edad.

En todos los casos, cada una de las formas principales de masa está localizada sobre una superficie determinada, que, en principio puede ser el Grupo (grupo de rodales de la misma

edad) que es la unidad última de inventario.

Es necesario aclarar también que las masas regulares pueden presentarse espontáneamente en la naturaleza, presentando distintas fases de desarrollo (Figura 1). Ejemplo de ello son algunas masas del género *Nothofagus*, como el caso de la “lenga” (*Nothofagus pumilio*) (Poepp. et Endl.) Krasser en Tierra del Fuego que, poseen una sucesión simple, predecible y de alta resiliencia. La dinámica natural incluye hechos catastróficos (incendios, avalanchas o volteos de viento), regenerando en bosquetes coetáneos. Los renovales crecen en masas compactas compitiendo por la luz, siendo el principal factor que afecta el desarrollo de las plantas. La lenga es la que más se adecua a las necesidades de manejo del bosque nativo. Estos bosques son factibles de ser manejados por cortas de entresaca (por floreo o cortas selectivas), talas rasas (en fajas o en bosquetes) o cortas de protección (sucesivas o por única vez). Los métodos más difundidos apuntan a la transformación del bosque natural en un sistema regular, es decir, de bosques primarios a bosques de segundo crecimiento, principalmente fustales.

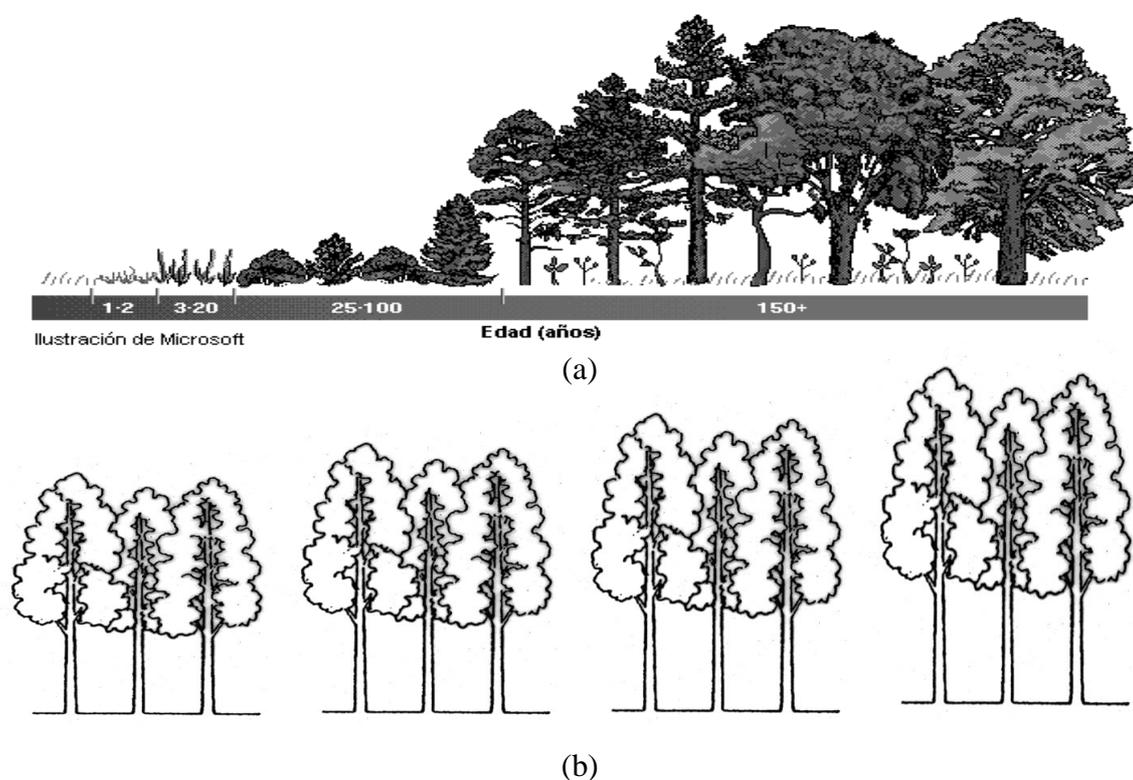


Figura 1 - Esquema del desarrollo de una masa regular natural (a) e implantada con rodales coetáneos pero con diferentes edades entre ellos (b).

El caso más simple de un bosque regular, monoespecífico y coetáneo, es el de las plantaciones forestales. Para maximizar la producción con fines comerciales se realizan las plantaciones por ejemplo, de pinos y eucaliptos, usando los mismos principios de la agricultura. La tierra se prepara, se añade fertilizante, se planta y se va quitando la hierba hasta que los árboles logran imponerse a las plantas competidoras. Luego en pocos años los árboles pueden cosecharse tal como una producción agrícola. Las plantaciones forestales requieren mayor administración que un bosque natural por lo tanto, mayor uso de energía directa e indirecta.

Las plantaciones proveen la materia prima a industrias de papel y embalajes, así como madera para construcciones, producen también paneles de madera, o pueden ser compactadas y formar madera prensada y grandes vigas (Odum et al., 1988).

1.1 Estructura

La estructura del rodal se define por la distribución y el tamaño de los individuos. Es el resultado de los hábitos de crecimiento de las especies, de las condiciones del ambiente y de las prácticas de manejo bajo las cuales el rodal se ha desarrollado (Husch, 1972).

Si bien existen dos clases típicas de estructura, regular e irregular, en condiciones naturales el bosque puede presentar toda una gradación entre esas dos situaciones.

En el rodal regular los árboles individuales se originan aproximadamente en un mismo período de tiempo, ya sea por regeneración natural o artificial. El rodal tiene una duración específica y al final del ciclo se cortan todos los árboles remanentes.

La estructura cambia con la edad debido a que se establece una fuerte competencia entre los árboles, provocando una rápida reducción del número de individuos por unidad de superficie. En bosques de zonas templadas se pueden observar rodales regulares que se establecen por diseminación natural con una cantidad de 4.000 a 40.000 individuos por ha., mientras que en un rodal maduro pueden encontrarse entre 40 y 80 árboles por hectárea. La reducción es más acentuada en las clases diamétricas menores y aparecen árboles en las clases diamétricas superiores (Meyer et al., 1961).

A medida que aumenta el diámetro medio del rodal, la reducción del número de árboles va acompañada de un cambio en la distribución, como se muestra en la Figura 2 para un rodal

regular de roble, Índice de Sitio 70, a las edades de 40, 70 y 100 años. El número de árboles se reduce de 472, a los 40 años, hasta 192 a los 100 años.

En los rodales más jóvenes los árboles están estrechamente agrupados, mientras que en los más viejos la distribución diamétrica es más amplia. La forma de la distribución se aproxima a la curva de distribución normal, aunque puede no ser necesariamente simétrica. Si bien los diámetros presentan una gran variación (Husch, 1972), la misma sigue un patrón de comportamiento más o menos definido. La mayoría se encuentran concentrados alrededor del diámetro medio, con frecuencias decrecientes hacia los diámetros superiores e inferiores.

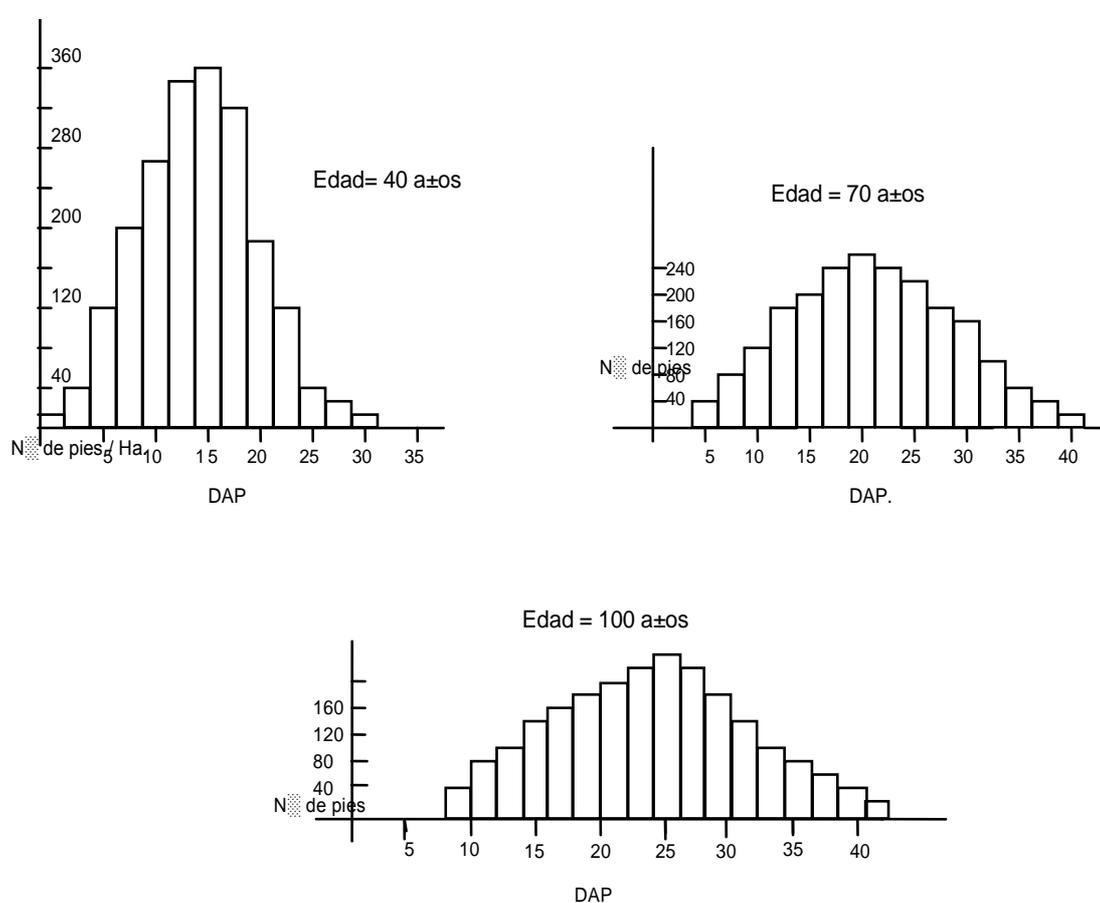


Figura 2 - Distribución diamétrica de un rodal de Roble a las edades de 40, 70 y 100 años. Índice de sitio 70 (Fuente: Meyer, 1961)

2. CRECIMIENTO

El *crecimiento en diámetro* puede variar mucho de un árbol para otro. Los árboles de una misma clase de edad pueden presentar incrementos diferentes en un 50 % a 100 % con relación al crecimiento medio. Si se aplica un tratamiento de raleo sistemático, se puede

acelerar sustancialmente el crecimiento de los individuos de mejor calidad, eliminando el capital de baja producción.

Si se analiza el crecimiento medio en diámetro en función de la edad, se observa un crecimiento rápido en los primeros años, seguido de un gradual decrecimiento. Sin embargo, esta tendencia puede ser diferente en rodales manejados y no manejados. Con la aplicación de los tratamientos el incremento medio puede mantenerse en un determinado nivel por muchos años.

Numerosos estudios han demostrado que los parámetros estimados para una típica estructura regular están más fuertemente relacionados con el diámetro medio que con la edad o la calidad de sitio, si bien estos dos últimos factores tienen considerable efecto sobre la distribución. En consecuencia, el diámetro medio es el parámetro más utilizado en la caracterización del rodal regular (Husch, 1972).

El *crecimiento en altura*, como regla general, es más uniforme que el crecimiento en diámetro. La variación de alturas depende de la posición sociológica de cada individuo, según la cual se lo puede clasificar como dominante, codominante, oprimido y suprimido, con la consiguiente dispersión de los crecimientos. El crecimiento en altura culmina antes que el crecimiento en diámetro.

El *crecimiento en área basal* se analiza en investigaciones comparativas de diferentes especies o del crecimiento de los rodales en diferentes sitios. También se utiliza en la construcción de tablas de volumen por ser una unidad de medida comparativa para todas las especies. Además, el crecimiento medio en área basal culmina antes que el crecimiento en volumen y raramente se aplica en decisiones de manejo.

El *crecimiento en volumen* puede obtenerse de una tabla de producción. La curva que representa la evolución del volumen por hectárea., en relación con la edad, tiene la típica forma sigmoide. Durante los primeros años la producción en volumen es lenta, luego la tasa de crecimiento se incrementa hasta un máximo y finalmente decrece.

La Figura 3 muestra una curva típica representativa del desarrollo del volumen del rodal.

El incremento corriente anual y el incremento medio también se representan en la misma figura. Se puede observar que la curva del incremento corriente anual (ICA) alcanza un máximo relativamente temprano en la vida del rodal y luego decrece.

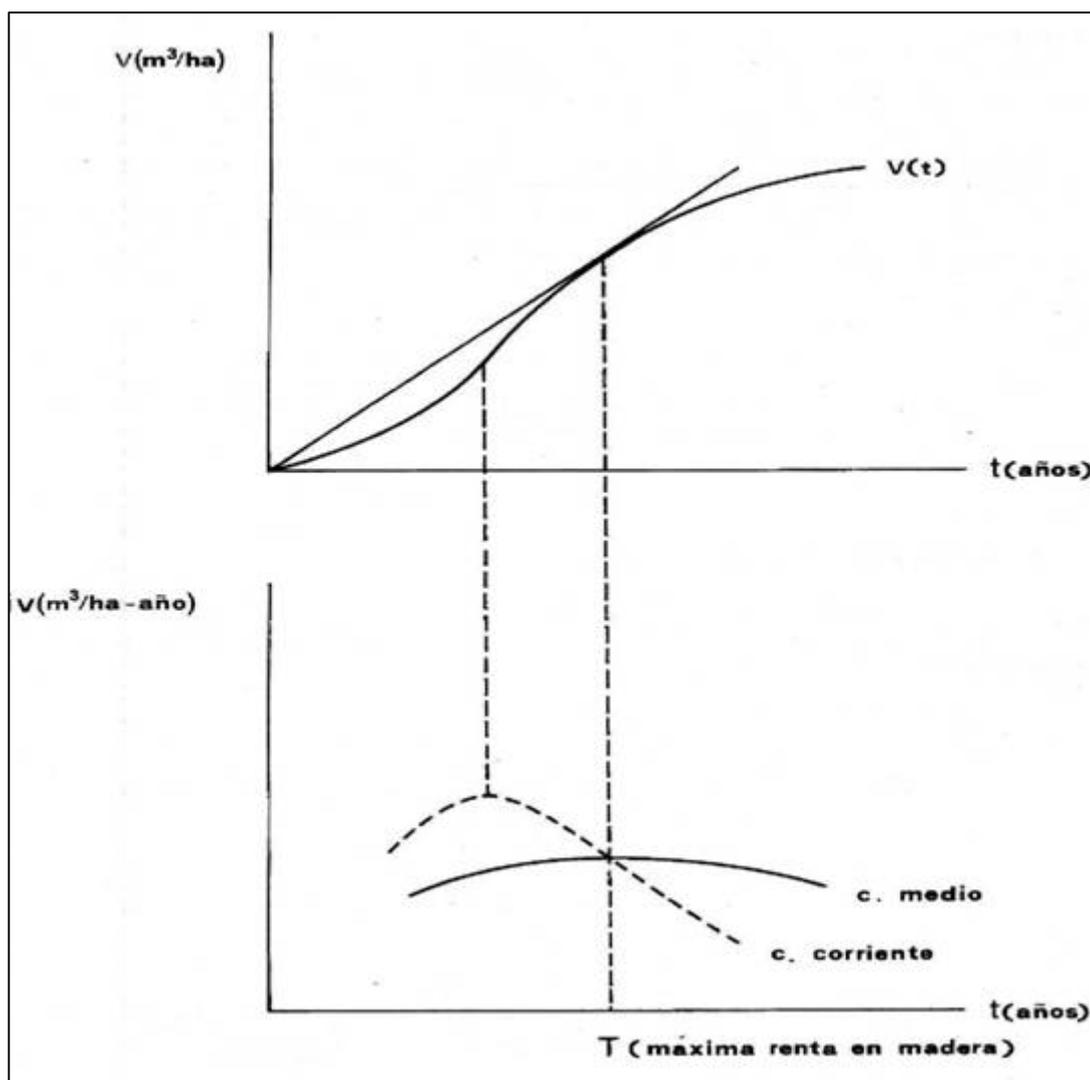


Figura 3 - Evolución del volumen en función de la edad en un rodal regular.
(Fuente: Madrigal, 1994).

En la Tabla 1 adaptada de Clutter (1983), se muestran los valores de la columna (1) correspondientes a las edades, la columna (2) contiene los volúmenes para las edades de 10 a 40 años. La columna (3) es el incremento corriente anual, que es la diferencia entre dos valores consecutivos de producción. La columna (4) muestra el incremento medio anual a las diferentes edades, el cual se calculó dividiendo la producción por la edad correspondiente.

Tabla 1 - Producción del rodal regular (Hipotético) en función de la edad.

Edad (Años)	Volumen (m³ /ha)	I C A (m³ /ha./año)	I M A (m³/ha/año)
10	182,66	28,56	18,27
11	211,22	29,03	19,20
12	240,25	29,38	20,02
13	269,51	29,50	20,76
14	299,01	29,50	21,35
15	328,51	29,26	21,94
16	357,78	29,02	22,42
17	386,93	28,67	22,77
18	415,60	28,20	23,12
19	443,80	27,73	23,36
20	471,53	27,14	23,60
21	498,67	26,55	23,71
22	525,22	25,84	23,83
23	551,07	25,13	23,95
24	576,20	24,42	23,95
25	600,07	23,71	24,07
26	624,49	23,12	24,07
27	647,51	22,30	23,95
28	669,81	21,59	23,95
29	691,40	20,76	23,83
30	712,17	20,06	23,71
31	732,35	19,35	23,60
32	751,71	18,64	23,48
33	770,35	17,93	23,36
34	788,29	17,22	23,12
35	805,52	16,63	23,01
36	822,16	15,93	22,89
37	838,09	15,34	22,65
38	853,43	14,75	22,42
39	868,18	14,16	22,30
40	882,22	-----	22,06

La Figura 4 adaptada de Clutter (1983), ha sido construida a partir de una ecuación ajustada por el modelo de Chapman Richard, lo que dio origen a la Tabla de Producción. El valor máximo del ICA se encuentra a la edad en que la pendiente de la curva de producción es más acentuada. La curva representativa del incremento medio anual (IMA) alcanza su máximo a edades mayores e intercepta la curva del incremento corriente anual en ese punto máximo.

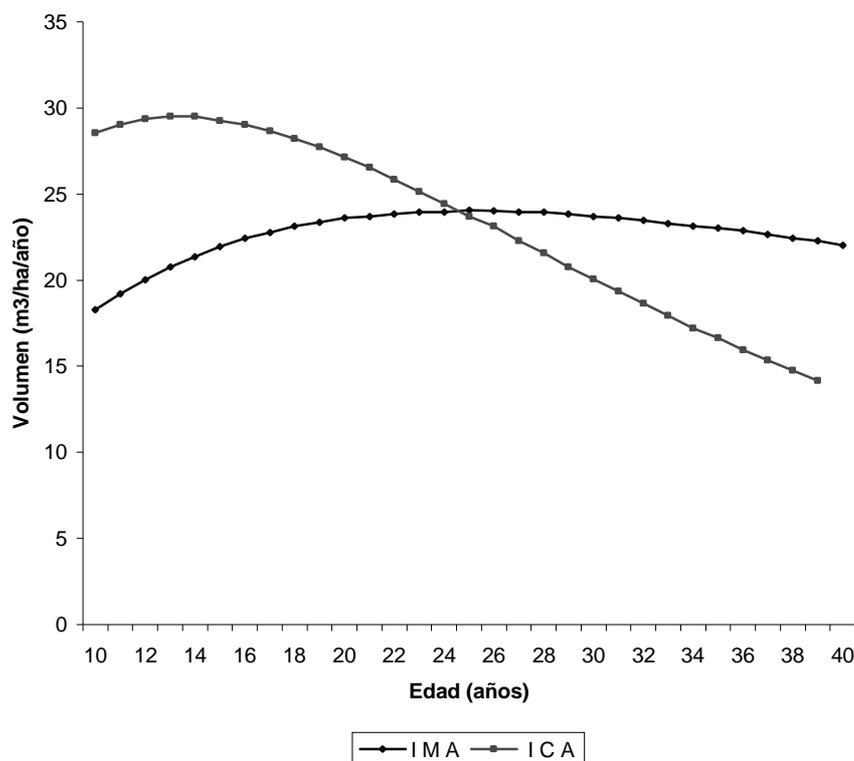


Figura 4 - Crecimiento corriente (ICA) y crecimiento medio (IMA) del rodal regular. (Fuente de datos: Clutter, 1983)

La edad en que el incremento medio anual alcanza el máximo se denomina *edad del máximo incremento medio anual*, la cual tiene un considerable significado en manejo forestal. En la Tabla 1 el máximo valor del IMA ($24,07 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$) ocurre a la edad de 25 años. Si las sucesivas rotaciones o turnos se mantienen en 25 años, la producción media será de $24,07 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$. La elección de cualquier otro Turno, diferente a 25 años, resultará en una reducción de la tasa de producción anual que se denomina sacrificio de cortabilidad.

Para un productor forestal, cuyo objetivo es la máxima producción en volumen, la edad de rotación deberá ser la del máximo incremento medio anual (Clutter, 1983).

2.1 Masa principal, masa intermedia y masa total

En el rodal regular, la masa que forma el vuelo está compuesta por pies de la misma especie y de la misma edad. Si la calidad de sitio es homogénea, los individuos tienden a ser

uniformes, con las copas en un mismo nivel de alturas, formando una espesura que depende de la fertilidad de la estación.

La espesura tiene un límite, que se alcanza con la normalidad fisiológica de la masa. La competencia afecta a los individuos más débiles, que son eliminados como componentes vivos y el espacio que dejan libre es aprovechado por los más vigorosos, que reaccionan y tienden a volver a la normalidad, que se mantendrá hasta que el crecimiento provoque nuevamente una situación en la que otros individuos sean suprimidos. Así sucesivamente se alternan fases de opresión y liberación, determinantes de los estados de espesura del vuelo. De esta forma ocurre el proceso natural de aclareo y equilibrio móvil de la espesura en las masas puras y regulares, con la consiguiente disminución del número de individuos por unidad de superficie.

Las intervenciones silvícolas resuelven esta lucha en favor de los pies seleccionados para permanecer en la masa. Los que se cortan, forman parte de la producción primaria inmediata, llamada también *producción intermedia*.

La masa principal son los pies presentes en el rodal en el momento de la corta y que forman parte de su producción principal. *La masa intermedia* es la suma de todos los pies extraídos hasta ése momento. Además la suma de ambas es *la masa total*

2.2 Crecimiento relativo

El crecimiento relativo (Cr), o crecimiento porcentual, resulta de comparar los crecimientos anuales de cualquier variable con la magnitud que le dió origen. En el caso de los árboles individuales, cada anillo de crecimiento anual se suma al crecimiento acumulado, por lo que el crecimiento relativo se asimila al "interés" de un "capital". La idea sugiere una comparación semejante a la que se establece entre el rédito y el capital (Mackay 1964). Aunque parece lógico aplicar el concepto del interés compuesto, algunas observaciones indican que el crecimiento, a veces, se representa mejor por el interés simple (Grosenbaugh, 1958). Esta discusión es puramente académica y el crecimiento relativo, por sí solo, no representa una guía para la toma de decisiones.

Según el concepto de interés simple, el crecimiento relativo o porcentual se expresa como el crecimiento corriente dividido por el volumen inicial, correspondiente al comienzo del período de crecimiento (Avery, 1967). Ello supone que el crecimiento absoluto entre los

valores inicial y final se produce linealmente siguiendo la ley del interés simple. Según cuál sea el término de comparación que se use, resultan las siguientes expresiones:

$$C_R = \frac{V_2 - V_1}{n \cdot V_1} (\times 100)$$

(Sobre el valor inicial)

donde:

V_1 = Volumen al principio del período de crecimiento;

V_2 = Volumen al final del período de crecimiento;

n = Número de años del periodo de crecimiento.

Estas fórmulas son aplicables cuando en la investigación se utiliza el barreno epidométrico y en aquellos pies cuya edad sea tal que los crecimientos en altura sean mínimos o nulos (Mackay, 1964).

Cuando el término de comparación es el valor final se utiliza la "Fórmula de Breyman".

$$Cr = \frac{V_2 - V_1}{n \cdot V_2} (\times 100)$$

Dadas las magnitudes M y m (representativas de una magnitud dasométrica), correspondientes a un período de n años, y Cr el crecimiento relativo, se asume que este puede permanecer constante. Siendo así, se trata del interés compuesto a tasa fija Cr , lo que da lugar a la sucesión siguiente:

$$m(1 + Cr), m(1 + Cr)^2, \dots, m(1 + Cr)^n$$

el último valor de la serie será igual a M .

Despejando Cr del último término obtenemos:

$$m(1 + Cr)^n \Rightarrow Cr = \sqrt[n]{\frac{M}{m}} - 1$$

Esta expresión se conoce como "Fórmula de Leibniz". Precisamente a esta fórmula se le atribuye una exactitud superior a todas las demás, pero no pasa de ser "el resultado de un convenio para definir el tanto medio de crecimiento en el intervalo considerado" (Mackay, 1961).

Suponiendo que el crecimiento anual sea constante e igual al crecimiento corriente $a = \frac{(M-m)}{n}$, los valores del crecimiento relativo serán *todos diferentes*, formando una sucesión según el concepto de interés simple:

$$Cr_1 = \frac{a}{m}; Cr_2 = \frac{a}{m+a}; Cr_3 = \frac{a}{m+2a}; \dots; Cr_n = \frac{a}{m+(n-1)a} = \frac{a}{M-a}$$

Considerando el promedio entre los términos de los extremos (primer y último crecimiento), y sustituyendo el valor de a se obtiene:

$$Cr = \frac{2(M-m)}{M(n-1) + m(n+1)}$$

Esta expresión se conoce como "fórmula de Kunze". De esta fórmula se deriva la de "Pressler", que es el término medio de comparación.

$$Cr = \frac{2 \times (M-m)}{n \times (M+m)}$$

Fórmulas menos utilizadas, son las de Merck:

$$Cr = \frac{1}{2n} \times \left(\frac{M}{m} - \frac{m}{M} \right)$$

y la de Peña, que se obtiene aplicando logaritmos a la fórmula de Leibniz:

$$Cr = \frac{1}{n} \ln \left(\frac{M}{m} \right)$$

o bien:

$$Cr = \frac{2,303}{n} \log \left(\frac{M}{m} \right)$$

Según la Tabla 2, la fórmula de Pressler da un resultado por defecto con respecto a la de Leibniz de 1,4 % para $n=5$; de 1,6 % para $n=10$ y del 2 % para $n = 20$. La de Kunze, con valores también por defecto, tiene más amplitud de aplicación. La de Merck podría sustituir a la de Leibniz cuando la relación $M/m < 1,8$ y $n = 20$, donde una aproximación de 0,002 es suficiente. La de Peña es la de más fácil cálculo y la que da los resultados más satisfactorios por derivarse directamente de la de Leibniz

Tabla 2 - Comparación entre los resultados de las diferentes fórmulas de Crecimiento Relativo (Fuente: Mackay, 1964)

VALORES DE			RESULTADOS				
M	m	n	Fórmula de Leibniz	Fórmula de Pressler	Fórmula de Kunze	Fórmula de Merck	Fórmula de Peña
120,00	100,00	5,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
140,00	100,00	5,00	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
160,00	100,00	5,00	0,10	0,09	0,10	0,10	0,09
180,00	100,00	5,00	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12
200,00	100,00	5,00	0,15	0,13	0,14	0,15	0,14
120,00	100,00	10,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
140,00	100,00	10,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
160,00	100,00	10,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
180,00	100,00	10,00	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
200,00	100,00	10,00	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07
120,00	100,00	20,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
140,00	100,00	20,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
160,00	100,00	20,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
180,00	100,00	20,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
200,00	100,00	20,00	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03
220,00	100,00	20,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
240,00	100,00	20,00	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04

3. BOSQUE NORMAL

El bosque normal es un modelo conceptual desarrollado por los forestales alemanes y franceses en los orígenes del manejo forestal. El modelo establece la corta periódica en bloques pequeños, uniformes y regulares, teniendo como objetivo maximizar la producción de madera (Leuschner, 1984).

El bosque normal se definió como aquel que posee: 1) Incremento normal; 2) Distribución normal de las clases de edad; y 3) Existencias normales.

1) *El incremento normal* es el máximo posible para una determinada especie y calidad de sitio.

2) *La distribución normal* de edades se cumple cuando el bosque está compuesto por una serie de rodales de igual productividad (no necesariamente igual tamaño) con edades que varían desde los más jóvenes hasta los de mayor edad (T). Con esta distribución de edades se tiene un aprovechamiento en intervalos de tiempo uniformes.

3) *Las existencias normales* se logran una vez obtenidos el incremento normal y la distribución normal de las clases de edad.

El bosque normal y su manejo pueden ejemplificarse considerando un bosque de 10 ha. compuesto por 25 rodales que difieren en 1 año de edad y Turno de 25 años (Figura 5). La calidad de sitio es la misma para todos los rodales.

Cada rodal se corta el 1° de enero a la edad de 25 años y se regenera inmediatamente.

Los cuadros muestran la situación del bosque con el transcurso del tiempo. Las figuras a), b), c) y d) representan el bosque al 31/12/1975; 31/12/1976; 31/12/1977 y 1999 respectivamente.

Cada una de las celdas representa un rodal de 2,5 ha. Existe una distribución normal de edades, puesto que hay 25 rodales, donde cada uno difiere en 1 año del siguiente. El de mayor edad coincide con la edad del Turno. La productividad es la misma para todos los rodales, pues el sitio es uniforme.

La Figura 5 (a) representa la situación inicial en diciembre de 1975. En enero de 1976 se corta el rodal E5, que ha llegado a la edad de corta y se regenera inmediatamente.

La Figura 5 (b) muestra el bosque al 31/12/76, cuando el rodal E5 tiene ya un año y el resto de los rodales tienen un año más. De esta manera, el rodal E4 alcanzó los 25 años y es el próximo a ser cortado.

La Figura 5 (c) corresponde al 31/12/77. El rodal E4 que fue cortado y regenerado el 01/01/77 tiene un año mas, mientras que el rodal E5 tiene ya 2 años. El rodal E3 es el que está en condiciones de ser cortado.

La Figura 5 (d) muestra el bosque 24 años después con respecto a la Figura (a), es decir el 31/12/99 y debe cortarse el 01/01/2000. El rodal A1 es el de mayor edad.

Esta secuencia de aprovechamiento se mantiene a perpetuidad. El rodal más viejo se corta y se regenera cada año. El flujo de productos que ofrece este bosque es igual y constante porque los rodales son de igual tamaño y productividad.

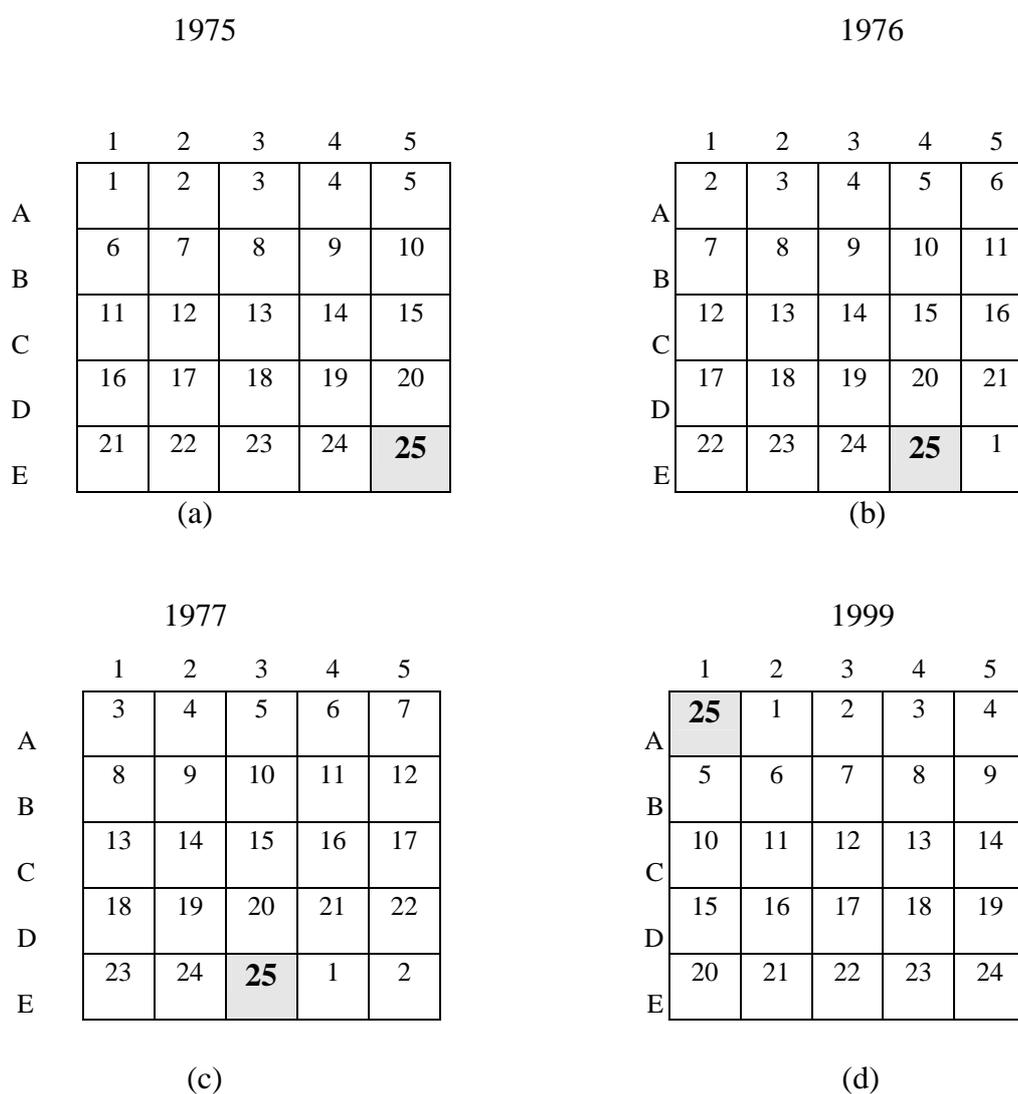


Figura 5 - Representación esquemática del bosque normal en diferentes años.

4 BOSQUE NORMAL Y BOSQUE ORGANIZADO

Un bosque normal y un bosque ordenado no son la misma cosa. Todo bosque normal es un bosque ordenado, pero no todo bosque organizado es un bosque normal. Es decir, un bosque puede estar organizado sin que esté normalizado. El bosque normal engloba un concepto de maximización (máximo incremento) aplicado a los bosques regulares.

Por otra parte, el bosque organizado puede ser regular o irregular y no necesariamente producir el máximo incremento. Así el bosque normal es un caso especial del bosque ordenado.

En la realidad el bosque normal es un modelo impracticable en todas sus condiciones. Los bosques cambian con el tiempo por modificaciones propias del sitio, variaciones genéticas, suelos que se vuelven improductivos, etc. Estos cambios deben ser considerados en los planes de manejo, introduciéndose las modificaciones necesarias. Sin embargo, el concepto de bosque normal tiene su valor por haber servido de modelo normativo en los planes de manejo de bosques regulares. La idea de una producción constante anual o en cortos periodos de tiempo aún persiste, al igual que el objetivo del máximo crecimiento posible.

5 TIPOS DE ORGANIZACIÓN DE LAS MASAS REGULARES

La organización de las masas regulares para obtener un flujo constante de bienes y servicios, es el objetivo principal de la Ordenación Forestal. Un bosque ordenado es aquel que puede ofrecer producciones anuales o periódicas, similares en cantidad, dimensiones y calidad. Si bien esta definición se refiere principalmente a productos madereros, es lo suficientemente amplia como para incluir la vida silvestre, recreación, valores estéticos y otros productos forestales. Así, la organización (regulación) consiste en el manejo de las áreas forestales y de las existencias para el mejor logro de los objetivos de producción. Se deduce que la producción no necesariamente debe ser la máxima posible. La condición necesaria es la periodicidad de la producción (rendimiento sostenido) y no la cantidad o el grado de utilización del sitio (Leuschner, 1984).

Los sistemas silviculturales sobre los que se elaboraron los métodos de regeneración dan como resultado dos formas generales de masa: aquellas compuestas por rodales regulares (coetáneos) y las constituidas por rodales irregulares (disetáneos). Los sistemas de plantación, siembra directa, corte raso, etc. generan rodales regulares. En cambio el método de selección mantiene la masa en condición de irregular.

El tipo de organización que se elija debe estar de acuerdo con la forma de masa y con el principio fundamental de mantener la sustentabilidad ecológica del sistema y la obtención de una determinada rentabilidad. Para ese logro existe un plazo de organización, el que se ha denominado también como turno transitorio, ya que para alcanzar una organización estable

de la masa puede ser necesaria la aplicación de cortas y tratamientos que aproximen la estructura inicial del bosque hacia el tipo de organización que se ha fijado como objetivo.

Según Mackay (1961), los dos extremos que pueden presentarse con respecto a la diferencia de edades en una masa regular son:

- a) que todos los rodales tengan la misma edad; y
- b) que los rodales sean todos de edades diferentes.

Esta distinción da origen a por lo menos tres tipos de organización: *series de rodal único*, *serie graduada* y *serie ordenada*.

5.1. Serie de rodal único

Se trata de una masa forestal integrada por una sola clase de edad. Es el caso típico de una plantación que se lleva a cabo en un solo año, se espera a que el arbolado madure y luego se corta en su totalidad. También se denomina plantación de rendimiento único.

El productor destina una pequeña superficie y una inversión para establecer una parcela forestal que le sirve como reaseguro para una eventualidad. Este tipo de plantación requiere de extensiones pequeñas de tierra. Sin embargo, para obtener ingresos deberá esperar un largo tiempo. Una vez realizada la corta deberá esperar otro tanto para poder volver a aprovechar económicamente el bosque. Por ejemplo, si planta una hectárea de pino con un turno de 25 años, deberá esperar 25 años para llevar a cabo la corta final. Una vez realizada la misma el capital forestal se verá reducido a cero. En caso de que decida seguir utilizando el terreno para la producción forestal deberá esperar otros 25 años para llegar a una segunda corta final.

Otro caso es cuando el productor tiene varios rodales de la misma edad, por lo que se puede asumir que se trata de un solo rodal k veces mayor, siendo k el número de rodales. La producción de todo el conjunto se repite en cada ciclo y en la misma época. Cuando los rodales han llegado a la edad del turno (T) se efectúa la corta final (Figura 6). Si se regenera la masa inmediatamente por repoblación, se da continuidad a los ciclos productivos. Este es el tipo de organización más simple en la que es necesario establecer el momento de las cortas intermedias (raleos) y de la corta final. Es aplicable a masas con pocas especies, coetáneas y de pequeñas superficies.

La expresión matemática de esta evolución es:

$$P_{(a)} = P_{(a + kT)}$$

En que:

$P_{(a)}$ = la producción en el año (a) de la edad del rodal;

T = duración del turno en años; y

K = número entero, de 0 a n , indicativo del ciclo en que se considera la $P_{(a)}$

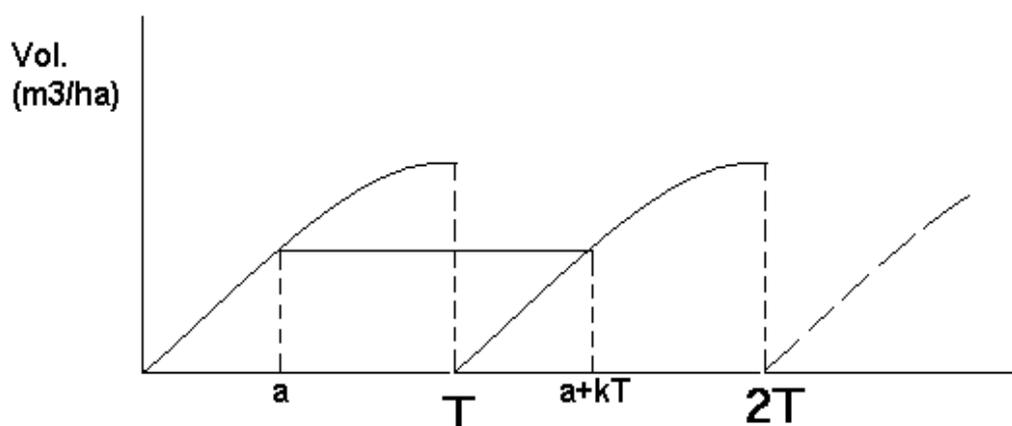


Figura 6 - Serie de Rodal Único.

5.2 Serie Graduada de Rodales Iguales

La masa forestal en su conjunto esta integrada por varias clases de edades que se van plantando en forma graduada, por ejemplo cada cinco años. Hay tantos rodales como clases de edad. Si se planta una hectárea de pino cada cinco años con turno de 25 años, al momento de realizar la primera corta habrá cinco clases de edad: un rodal de 25 años (cortable), uno de 20 años, uno de 15 años, uno de 10 años y uno de 5 años. En la hectárea en que se cortó se establecerá una nueva plantación.

Este tipo de plantaciones ofrece un rendimiento periódico. El productor obtendrá ingresos cada cinco años. Se trata de una producción más continua que la del rodal único, pero no representa una renta constante. Sin embargo, este tipo de plantación todavía es bastante poco exigente en espacio. En el ejemplo, para poder realizar la corta de 1 hectárea se requiere plantar en forma graduada 5 hectáreas. Este tipo de plantación resulta adecuado para un productor dispuesto a invertir cantidades limitadas de dinero y tierra.

La serie está constituida por **k** rodales, que se diferencian únicamente por su edad. Esa diferencia es igual a un intervalo de tiempo constante (**h**) entre dos edades consecutivas. Los rodales que integran la masa tendrán una producción similar durante el ciclo de T años. La situación inicial de la serie, en la que uno de los rodales a llegado a la edad T se representa en la Tabla 3. Transcurridos **h** años después de la corta final, el rodal **k** fue cortado y regenerado pasando a tener una edad igual al intervalo de **h** años.

Tabla 3 - Edad de los rodales de la serie graduada.

Rodal	1	2	3	.....	k-1	K
Edad actual	T-(k-1)h	T-(k-2)h	T-(k-3)h	.....	T-h	T
Después de la corta	T-(k-2)h	T-(k-3)h	T-(k-4)h	.....	T	h

La Tabla 3 puede interpretarse con el ejemplo citado por Carabelli (1993), que considera una masa de *Pseudotsuga menziessii*, estratificada en 5 rodales (k=5), coetáneos, plantados a intervalos de 10 años (h=10).

El primer rodal se implantó en 1942, estableciéndose un Turno de 50 años (T=50). Numéricamente la serie se representa en la Tabla 4.

Tabla 4 - Edad de los rodales de una serie graduada de *Pseudotsuga menziessii*.

Rodal	1	2	3	4	5
Edad actual	50-(5-1)10=10	50-(5-2)10=20	50-(5-3)10=30	50-(5-4)10=40	50-(5-5)10=50
Después de la corta	50-(5-2)10=20	50-(5-3)10=30	50-(5-4)10=40	.....50=50	10=10

Se observa que el primer término correspondiente a la edad actual es igual al último término después de la corta, los que en la Tabla 3 fueron expresados como T-(k-1)h y h, respectivamente.

Resolviendo la igualdad $T-(k-1)h = h$, resulta que:

$$T = k \cdot h$$

Esta última expresión representa la condición para que la serie se mantenga constante, presentándose siempre una sucesión de edades con intervalos iguales. A este conjunto se le llama **serie graduada de rodales iguales**. La representación gráfica de la evolución volumétrica de la serie se muestra en la Figura 7.

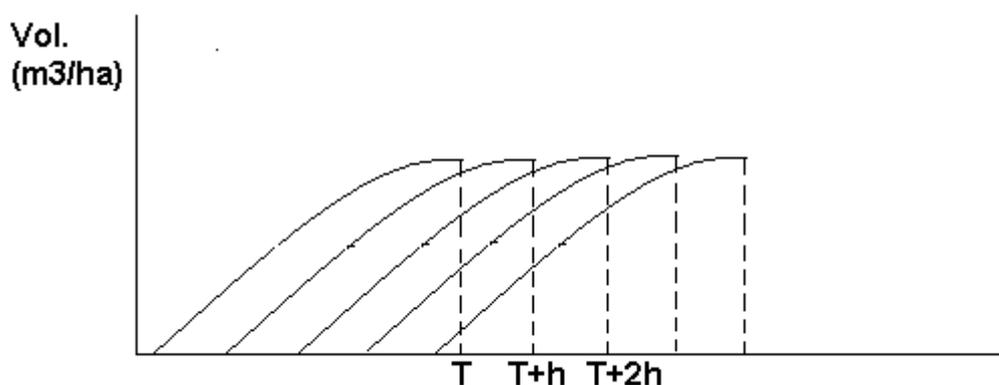


Figura 7- Desarrollo de la serie graduada.

La figura 7 muestra la repetición de la curva de desarrollo de cinco rodales iguales con una diferencia de edades de h años entre sí que han llegado a la edad de corta (T), que también ocurren cada h años.

5.3 Serie Ordenada de Rodales Iguales

El bosque tendrá una organización similar al anterior, pero la superficie se divide en tantos años como tenga el turno. Se obtiene de esta manera una rentabilidad anual. En el caso del pino, significa que se plantará 1 hectárea por año durante 25 años consecutivos. Al llegar al momento de la corta habrá 25 clases de edad: un rodal cortable de 25 años, uno de 24, uno de 23, uno de 22, etcétera. Este tipo de plantación es muy exigente en espacio y capital. En nuestro ejemplo, para cortar 1 hectárea por año se deberá destinar a la producción forestal 25 hectáreas, con una considerable inversión anual en las plantaciones y en su mantenimiento. Sin embargo, una vez estabilizado el monte, el productor obtendrá probablemente un ingreso mucho más alto que en la mayoría de las actividades agrícolas alternativas. Además, en estas condiciones el productor estará naturalmente interesado en extraer y aserrar la madera por su cuenta, con lo cual podrá duplicar o triplicar sus ganancias por el mayor valor agregado.

Económicamente las plantaciones forestales tienen un problema: si invierten capital en una plantación de crecimiento medio, en la mayoría de los casos los árboles crecerán menos que el mismo capital puesto a interés bancario. En la economía campesina este problema es menor, porque el productor realiza gran parte de su inversión en trabajo. Sin embargo, para que existan plantaciones forestales industriales tiene que haber un sistema de subsidios, estímulos y un adecuado sistema de seguro. En los países que cuentan con un sistema de subsidios eficiente y de fácil acceso, la economía de pequeñas plantaciones forestales se ha desarrollado considerablemente. En los países que carecen de dichos apoyos o donde los mismos son muy complicados y morosos, la economía campesina de plantaciones forestales ha tenido muy escaso desarrollo.

Este tipo de organización es un caso particular del anterior en que el intervalo $h = 1$ año. Por lo tanto la masa está compuesta por un número de rodales igual a los años del turno (T). La producción es anual e igual a la producción total (intermedias + final). Cada año se cortan simultáneamente todas las producciones intermedias del resto de los rodales y la final del rodal de edad T . En la Figura 8 se han representado las curvas de evolución del Rodal **A** en dos ciclos consecutivos (**A** y **A'**), de la misma manera que las correspondientes a los Rodales **B**, **C** y **D**, todos iguales salvo en la edad.

En un determinado año, tal como el año 20, se obtendrán de los rodales **A** y **B** las producciones señaladas por la ordenada correspondiente. Nótese que en el año 50 (T) habrá cuatro producciones que se derivan de cada rodal, siendo la del rodal **A** los productos de la corta final.

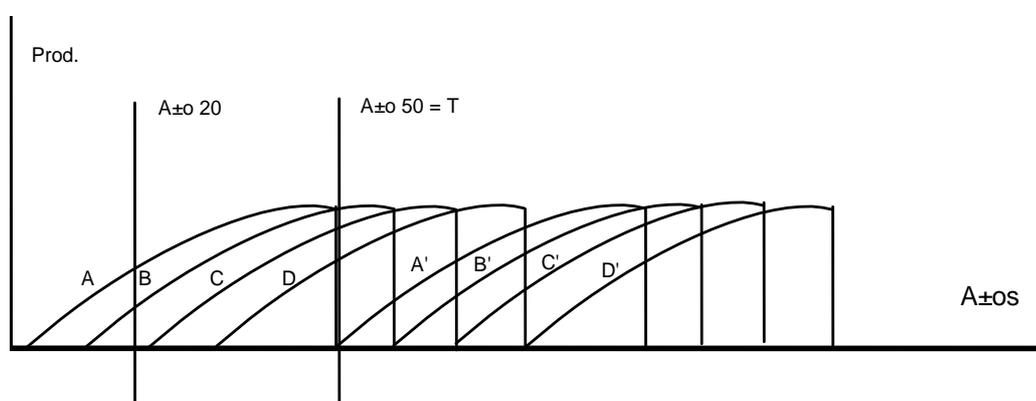


Figura 8 - Desarrollo de la serie ordenada de rodales iguales

6 PRODUCCION

La *producción forestal* es el resultado de los procesos biológicos que dan lugar a la formación de productos como consecuencia del crecimiento acumulado de los árboles individuales. Cuando llega el momento de la corta, la madera se aprovecha para la obtención de los diferentes productos.

Por ejemplo, en el caso de una plantación de eucaliptos de la zona de Concordia, los aserraderos utilizan la madera en rollos de hasta 12 cm de diámetro y 4,4 m de largo para producir tablas. Las medidas mas comunes son de 1” de espesor por 3”, 4”, 5” o 6” de ancho, con largos de 7 a 14 pies.

Las fábricas de cajones fruteros utilizan madera de hasta 8 cm de diámetro por 2,2 m de largo.

Los postes sometidos a impregnación con creosota se usan para el tendido de líneas telefónicas o eléctricas y en menor escala para alambrados. Para ello se buscan los árboles entre 18 cm a 25 cm de DAP y un mínimo de 12 cm en la punta y 7,5 m a 9 m de altura. Se eligen los individuos con fustes más rectos.

Las fábricas de pasta para celulosa pueden utilizar madera con diámetros más finos. Consumen rollizos de 2,20 m de largo, que luego se convierte en “chips”. También pueden tener otras medidas de largo dependiendo del tipo de transporte y si se exporta o es para uso local.

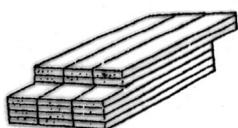
En la Tabla 5 se indica la producción según categorías diamétricas, en tanto que en la Figura 9 pueden observarse los productos que se obtienen.

Tabla 5. Producción de una plantación de *Eucaliptus grandis* a los 10 años³.

Diámetro (cm)	Altura (m)	N° Arb./ha	Volumen con corteza (m ³ /ha)		
			>14cm	8 cm – 14 cm	5 cm – 8cm
5-7	15,30	3	0	0	0
7,1-9	17,50	9	0	0	0,4
9,1-11	18,70	21	0	0,7	0,6
11,1-13	19,70	41	0	3,0	0,8
13,1-15	20,90	70	3,0	5,9	1,3
15,1-17	21,90	101	11,4	7,1	1,4
17,1-19	22,80	125	23,7	8,0	1,4
19,1-21	23,70	132	34,3	8,1	1,9
21,1-23	24,50	119	41,6	6,2	1,3
23,1-25	25,10	92	40,0	4,2	0,8

³ Fuente: Manual para productores de Eucaliptos de la Mesopotamia Argentina. SAGyP – INTA (1995)

Diámetro (cm)	Altura (m)	N° Arb./ha	Volumen con corteza (m ³ /ha)		
			>14cm	8 cm – 14 cm	5 cm – 8cm
25,1-27	25,60	60	32,9	2,4	0,3
27,1-29	26,00	34	22,1	1,2	0,4
29,1-31	26,20	16	12,3	0,5	0,1
31,1-33	26,30	7	6,3	0,2	0,1
33,1-35	26,40	2	2,1	0,1	0,1
TOTAL		832	229,7	48,0	10,9



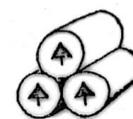
Madera para aserrado,
mayor de 14 cm de diámetro

70 %

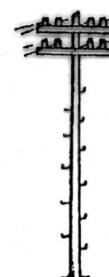


Madera para cajonería,
8 a 13 cm de diámetro

15 %



Madera para molienda,
8 a 5 cm de diámetro



Postes 200 - 300/ha



Tocones 1 - 2 %



Corteza 9 - 10 %

Figura 9 - Producción de un monte de Eucaliptus grandis a los 10 años.

7 CALIDAD DE SITIO Y PRODUCTIVIDAD

En el contexto del manejo forestal, la calidad de sitio es su capacidad productiva o producción potencial, para una especie en particular. Generalmente, la calidad de sitio se indica con términos relativos como buena o pobre, indicando alta o baja productividad. Asimismo, el tamaño de los productos y su valor a las distintas edades está fuertemente condicionado por el sitio y la densidad del rodal.

Para la evaluación del sitio existen diferentes métodos.

Métodos directos	Estimación a partir de los registros históricos de producción.
	Estimación basada en datos del volumen del rodal.
	Estimación basada en datos de altura del rodal.
Métodos indirectos	Estimación de las relaciones entre especies del estrato superior.
	Estimación por las características de la vegetación menor.
	Estimación por factores topográficos, climáticos y edáficos.

Los métodos directos requieren que exista o hayan existido en el pasado las especies de interés en el sitio a ser evaluado. De no ser así, pueden ser usados los métodos indirectos. Los directos proveen una mejor evaluación.

La productividad desde el punto de vista forestal, es una expresión de la capacidad de producción de un ecosistema. Su caracterización y medición son importantes para optimizar los factores de producción y minimizar los costos. También influye en las decisiones sobre cuales son las especies más adecuadas, los tratamientos y las inversiones necesarias.

La capacidad productiva se mide por una función que determina la cantidad producida por unidad de superficie con relación al tiempo. Por ejemplo, metros cúbicos de madera producida por hectárea y por año. Sin embargo, un mismo volumen producido puede tener valores diferentes dependiendo del tiempo de producción y del manejo aplicado. Por este

motivo, actualmente se determina la productividad utilizando los árboles dominantes como indicadores de la capacidad de producción, correlacionados con el tiempo necesario para producirlos.

Los mejores árboles, que son los que se dejan para la corta final, no son afectados, por ejemplo, por los raleos. Durante mucho tiempo se han considerado como árboles dominantes los cien árboles más gruesos por hectárea. Como éste criterio no tiene en cuenta las varianzas de los diámetros que pueden existir, se adoptó el siguiente criterio:

“Son dominantes todos los árboles mayores que el diámetro medio sumado dos desviaciones estándar ($d_m + 2\sigma$)”

7.1 Función de crecimiento

Para correlacionar las alturas de los árboles dominantes con la edad es necesario conocer la ley de crecimiento biológico tanto individual como de la población. En el desarrollo de un individuo o de una población el proceso presenta tres fases distintas: juventud, madurez y senectud.

Analizando la forma y la tendencia de los crecimientos biológicos en función del tiempo, se constató que se la puede asimilar a la forma de una S, por lo que se la denominó sigmoide.

La tendencia, reflejada en una curva, comienza en un valor referencial cero, pasando a crecer gradualmente (Figura 10) hasta alcanzar un punto de inflexión, continúa creciendo con menor intensidad hasta llegar a un punto de tangencia máxima y a partir de este punto comienza un proceso asintótico.

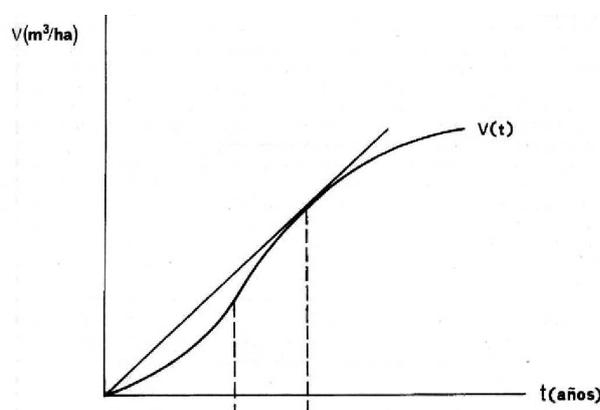


Figura 10 – Curva sigmoide representativa de la evolución del volumen.

Conocidas las tendencias del crecimiento en función del tiempo, surgieron varias ecuaciones matemáticas para representarla, que se obtienen mediante técnicas de regresión para estimar la evolución de una población.

7.2 Clases de Productividad

Como una primera aproximación se pueden mapear las diversas clases de productividad con base en las alturas dominantes de las parcelas permanentes de inventario. Se pueden relacionar con la fisiografía, formación geológica, vegetación indicadora, lo que ayuda a determinar las clases de productividad de cada área. Definidas las superficies de cada clase, se tiene una base física para el manejo.

La calidad de sitio frecuentemente se expresa en números romanos, que indican la productividad en orden decreciente en número de tres a cinco clases, por ejemplo, clase de sitio I, II, III, IV, y V. Sin embargo, la tendencia actual es de representar estas clases por índices numéricos.

7.3 Función de productividad

Con los valores de alturas dominantes medias y las respectivas edades tomadas en distintas parcelas, se puede hacer una regresión de alturas en función de la edad.

La ecuación que representa la evolución de las alturas dominantes permite tener el mapeo de la productividad. Sin embargo, todavía no se tendrá la estimación de la evolución del volumen de madera en m^3 o estéreos, o de peso seco de madera, o de energía. Para ello se necesita una función de producción.

Aunque se han usado diferentes técnicas para ajustar curvas de índice de sitio, la mayoría puede considerarse como casos especiales de los siguientes métodos:

- Método de la curva guía;
- Método de la ecuación diferencia;
- Método de predicción de parámetros.

7.3.1 Método de la curva guía

7.3.1.1 Método Gráfico

El método gráfico sirve para tener una idea del principio de construcción de las curvas. Para ello se necesitan los datos de H_{dom} y edad de las parcelas, que deben estar distribuidas en toda la amplitud de clases de calidad y de edad.

Se usa para generar curvas anamórficas de índices de sitio. El modelo usado es el sugerido por Schumacher en 1939. Este procedimiento permite obtener una familia de curvas de altura en función de la edad a partir de la siguiente expresión;

$$H_i = k_{0i} e^{\beta A^{-1}}$$

Para la elaboración de las curvas se necesita contar con los pares de valores (H_{dom} , Edad) de las parcelas distribuidas en toda la amplitud de clases de sitio y de edad.

El método consiste en:

- Ajustar una ecuación de regresión $H_{dom} = f(\text{Edad})$, aplicando el método de mínimos cuadrados;
- Estimar los valores de H_{dom} para las respectivas edades. Estos valores estimados, cuando se representan gráficamente resultan en la curva guía;
- Analizar la amplitud de variación de los datos de H_{dom} , dividirla en clases de igual amplitud y definir la edad índice;
- Calcular los valores que corresponden a las curvas límites de cada clase.

Las curvas límites se obtienen multiplicando los valores de H_{dom} de la curva guía por un factor de proporcionalidad (P_i).

Los valores de P_i se calculan por el cociente entre los valores límites de clase y el valor de H_{dom} estimados por la ecuación de la curva guía. En consecuencia, las curvas serán equidistantes entre sí.

Por ejemplo, si la altura dominante estimada por la ecuación, a los 60 meses, fuera de 20,39 m, las proporciones para las curvas de 16, 18, 20, 22 y 24 serán:

P1	P2	P3	P4	P5
16 / 20,39	18 / 20,39	20 / 20,39	22 / 20,39	24 / 20,39
0,78	0,88	0,98	1,08	1,18

Con estos valores se construye la tabla de productividad y su representación gráfica genera las curvas de calidad para las clases de sitio I a V.

7.3.1.2 Método analítico

Existen dos tipos de curvas de índice de calidad: anamórficas y polimórficas. Las más empleadas son las anamórficas, que son curvas con la misma forma, es decir, la misma tendencia de crecimiento. Las polimórficas pueden tener diferentes formas para las distintas clases de calidad de sitio.

Los datos necesarios para la construcción de curvas polimórficas solo pueden obtenerse en parcelas permanentes o del análisis del fuste. En cambio las curvas anamórficas se pueden construir a partir de datos de H_{dom} y edad obtenidos en parcelas temporarias o permanentes y del análisis del fuste

Generalmente las curvas de índice de sitio se representan por una ecuación en forma lineal a partir de la exponencial:

$$H_i = k_{0i} e^{\beta A^{-1}}$$

que se transforma en

$$\ln H_{dom} = b_0 + b_1 A^{-1}$$

Donde:

H_{dom} = Altura media de los árboles dominantes;

A = Edad de la plantación;

b_0 y b_1 = coeficientes de la regresión.

Para construir las curvas de índice de sitio se requiere contar con los datos (H_{dom} , Edad) de una muestra representativa de las clases de calidad.

Por otra parte, el índice de sitio es la altura dominante en la edad de referencia, por lo tanto las curvas pueden obtenerse sustituyendo el coeficiente b_0 por el Ln de las alturas medias dominantes, lo que implica trasladar el eje y, reordenándose la ecuación de la siguiente manera:

$$\ln(S) = \ln(H_{dom}) - b_1 \left(\frac{1}{E} - \frac{1}{E_i} \right)$$

En que:

S = Índice de sitio;

E = Edad actual del rodal;

E_i = Edad de referencia.

La edad índice o edad de referencia, debe elegirse lo más próxima posible al Turno o rotación final.

En síntesis el procedimiento es:

- Transformar los datos de H_{dom} en $\ln H_{dom}$;
- Transformar los datos de las edades (E) en $(1/E)$;
- Ajustar la ecuación $\ln H_{dom} = b_0 + b_1 A^{-1}$ aplicando el método de mínimos cuadrados;
- La ecuación ajustada representa la curva guía;
- Para obtener una determinada curva se aplica la ecuación modificada $\ln(S) = \ln(H_{dom}) - b_1 \left(\frac{1}{E} - \frac{1}{E_i} \right)$;
- Por ejemplo, , si se desea obtener la curva con índice de sitio (S = 20):
- $\ln(S) = \ln(20) - b_1 \left(\frac{1}{E} - \frac{1}{E_i} \right)$;
- Los valores de $\ln H_{dom}$ se estiman con la ecuación sustituyendo la variable E y la constante E_i (Edad de referencia);
- Las otras curvas índice se generan sustituyendo de la misma manera los índices de sitio en la ecuación modificada.

En la Figura 11 se ha graficado la curva guía y en la Figura 12 las curvas de calidad para E. grandis construidas según la metodología indicada.

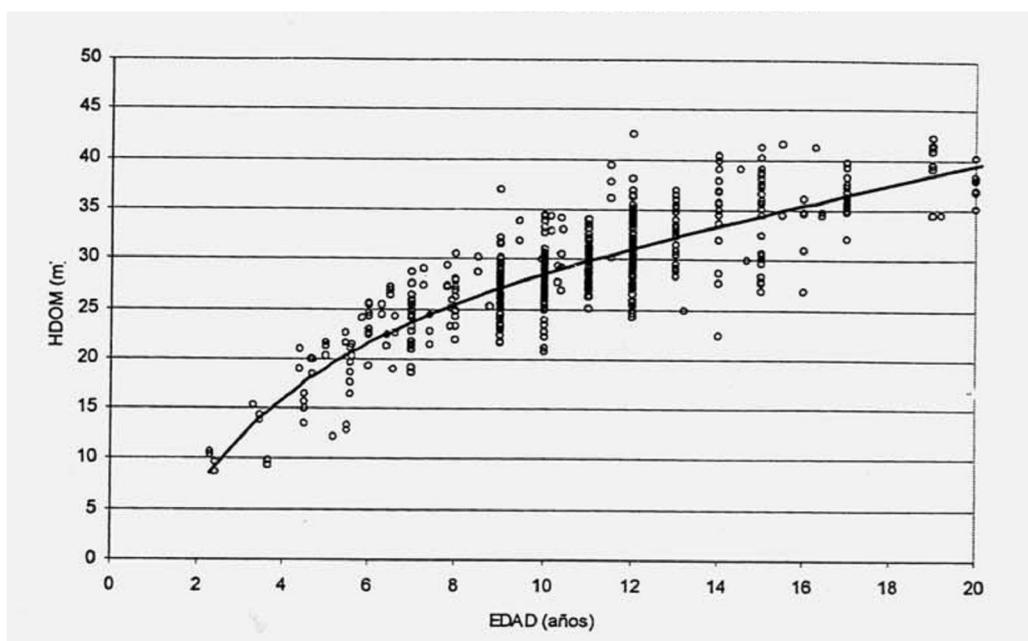


Figura 11 - Curva guía construida a partir del modelo ajustado (Glade, 1999).

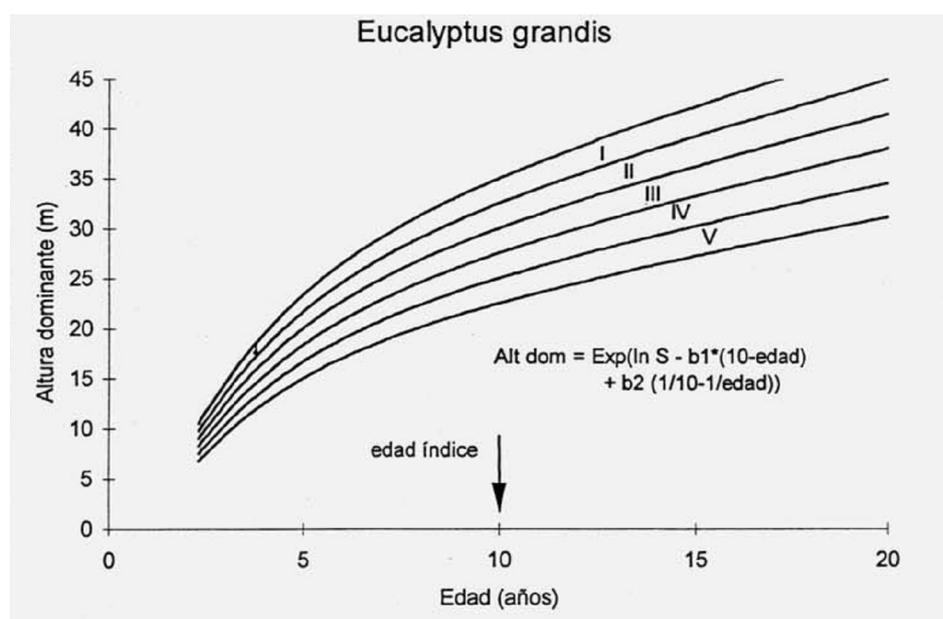


Figura 12 - Curvas de Índice de Sitio para Eucalyptus grandis (Glade, 1999)

8 TABLAS DE PRODUCCIÓN

Las tablas de producción expresan numéricamente como evoluciona el volumen de una especie en función de la edad, por unidad de superficie y por clase de calidad. Resultan de la combinación de la función de productividad con la función de producción. Conociendo la evolución de la altura dominante con la edad, se puede obtener la evolución de la producción total con la edad.

Dependiendo la variable independiente que se use, las tablas de producción para masas regulares pueden ser:

- Normales
- Empíricas
- Densidad Variable

Tablas Normales

Presentan la relación existente entre dos variables independientes (Edad ; Índice de Sitio) y una o más variables dependientes. Son también llamadas clásicas, construidas a partir del seguimiento durante años de parcelas permanentes y construidas a partir de métodos gráficos.

Contienen el modelo ideal de la dasonomía germánica que es el monte normal representado por la espesura completa, tangencia de copas (full stocking), que describe la densidad de un rodal en un determinado sitio, que está completamente ocupado y utilizando al máximo sus potencialidades. Esta situación resulta muy difícil de cuantificar por lo que se cuestionan las tablas normales y para no caer en subjetividades se crearon otros tipos de tablas.

Se puede estimar el volumen de un rodal a partir de una tabla normal midiendo su edad, índice de sitio y el porcentaje de existencias o normalidad.

El área basal es un parámetro que permite expresar las existencias relativas pues, se determina fácilmente y está íntimamente relacionado con el volumen. El valor que encontramos en la tabla normal de producción es una estimación del volumen real.

Tablas Empíricas

Son semejantes a la Normal pero se basan en parcelas de muestreo donde se recolectan datos para determinar las existencias promedios, es decir, un valor medio de la silvicultura aplicada. Es válida solo para los rodales en que se obtuvieron los datos.

Estas tablas contienen el volumen por hectárea en función de la edad, índice de sitio y densidad expresada por el área basal.

Tablas de Densidad Variable

Muestran la producción del rodal para diferentes niveles de espesura, es decir, se usa la densidad como variable independiente. La necesidad de aplicar raleos mas intensivos llevó luego de algunos años a construir las tablas de selvicultura variable (Madrigal,1995) que muestran una o varias alternativas razonables de lo que se puede hacer.

Para su construcción se utilizan técnicas de regresión múltiple que expresan la producción como una función que combina el índice de sitio, la edad y la densidad. Difiere de la empírica en que permite predecir la producción con cualquier régimen de manejo, mediante la simulación de la producción con diferentes niveles de las variables independientes.

9. APLICACIONES PRÁCTICAS

Las aplicaciones prácticas que se incluyen en esta serie didáctica están referidas a los temas tratados en la misma y también a otros que no se incluyen en esta serie por considerar que existe una bibliografía que los aborda con la claridad y profundidad suficiente para la comprensión de los estudiantes.

9.1. CRECIMIENTO Y PRODUCCION

9.1.1 Crecimiento de *Eucaliptus grandis*

Con el objeto de estimar el crecimiento de montes de *Eucaliptus grandis* en la zona de Concordia, Entre Ríos, se tomaron datos de plantaciones localizadas en diferentes tipos de suelos, con edades que varían entre 1,5 y 10 años, y distancias de plantación que oscilan entre 2,5 x 2,5 m y 4 m x 2,5 m.

Los datos levantados se refieren a diámetro y altura para determinadas edades y condiciones de desarrollo del monte.

Los valores observados de diámetro y altura, de los diferentes sitios, se relacionaron con la edad mediante una función de la forma $y = a + b \ln x$, en que **a** y **b** son constantes, **ln x** es el logaritmo neperiano de la edad e **y** es la variable independiente que corresponde al diámetro o altura.

El ajuste ha dado como resultado las siguientes ecuaciones:

$$D = 1,307 + 7,995 \ln X \quad r = 0,92$$

$$H = 0,825 + 9,762 \ln X \quad r = 0,95$$

Siendo:

D = diámetro estimado

X = edad

H = altura

r = coeficiente de correlación

Analizar:

- a. En una misma figura la evolución del diámetro y la altura con la edad
- b. Calcular y graficar el incremento medio anual e incremento corriente del diámetro y la altura.
- c. Estimar el diámetro y la altura para la edad de 10 años

d. Calcular la producción total, en volumen de madera con corteza existentes en 1 ha a la edad de 10 años, considerando que determinaciones realizadas en la zona dan un valor de coeficiente mórfo de 0,5 y que la densidad de plantación más frecuente en la zona es de 1.111 plantas / ha, con un porcentaje medio de fallas y árboles dominados del 25 %.

e. Calcular el rendimiento en toneladas teniendo en cuenta que la madera con una semana de oreo tiene una densidad de 0,9 tn/m³

9.1.2 Con los datos de la Tabla 1:

A)- Calcular el crecimiento corriente, el crecimiento medio anual y graficar;

B)- Determinar la edad del máximo crecimiento medio anual.

Tabla 1

Edad (años)	Volumen (m ³ /ha)	ICA (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha)
3	0.7		
4	20.9		
5	50.5		
6	88.0		
7	131.5		
8	179.5		
9	230.2		
10	282.0		
11	333.1		
12	382.0		
13	426.8		
14	466.0		
15	497.7		
16	520.4		
17	532.4		
18	532.4		

9.1.3 Con los valores presentados en la Tabla 2:

- Construir una tabla dineraria;
- Determinar la edad óptima de corta de acuerdo a los resultados obtenidos;
- Graficar la variación anual porcentual (V%) en función de la edad.

Siendo:

$$VF = (\$ 10,00 \times VT) \text{ (Valor del rodal)}$$

$$IVF = (VF_{t+1} - VF_t) \text{ (incremento del valor del rodal)}$$

$$V\% = \left(\frac{VF_{t+1}}{VF_t} - 1 \right) \times 100 \text{ (variación porcentual del valor del rodal)}$$

Se asume además que el valor del m^3 de madera es de \$ 30,00 y que el costo de oportunidad del capital es de 12 %.

Tabla 2

Edad (años)	VF (\$ / ha)	IVF (\$ / ha)	V% (%)
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

9.1.4 Un propietario rural posee una plantación de *Eucaliptus grandis*, la que se encuentra en su segunda rotación con un volumen de $275 \text{ m}^3 / \text{ha}$ (VA) a los 5 años de edad (IA).

Utilizando la siguiente expresión:

- Obtener las curvas de producción , del ICA e IMA
- Determinar la edad óptima de corta

$$\ln (VD) = \ln (VA) + 5,9960 \left(\frac{1}{IA} - \frac{1}{ID} \right)$$

donde:

VA = volumen actual del rodal (m³ / ha)

VD = volumen del rodal en la edad de proyección (m³ / ha)

IA = edad actual del rodal (años)

ID = edad para la que se desea proyectar el volumen (años)

ln = logaritmo neperiano

9.1.5 La cubicación de un árbol tipo de *Pinus silvestris*, a la edad de 35, 40 y 45 años dio los siguientes resultados:

Inventario a los 35 años = 0.0907 m³

Inventario a los 40 años = 0.1173 m³

Inventario a los 45 años = 0.1301 m³

- a) Calcular los **crecimientos relativos**, para los periodos de 5 y 10 años, considerando el valor inicial y final (Fórmula de Breyman),
- b) El valor medio (Fórmula de Pressler)
- c) Fórmula de Leibnitz
- d) Fórmula de Peña

9.2. CALIDAD DE SITIO

9.2.1 Con los datos de Hdom y edad, correspondientes a la medición de diferentes parcelas, obtener la ecuación de índice de sitio a partir del siguiente modelo:

$$\ln(\text{Hdom}) = \ln b_0 + b_1 (1/E) + \ln(E_i)$$

- Calcular las curvas de índice de sitio y construir una tabla de productividad (clases de calidad) para las clases I, II, III y IV, correspondientes a los índices de sitio (S) 17, 19, 21 y 23 metros de altura dominante, considerando la edad índice de 60 meses y una amplitud de clase de 3 m.

Datos del inventario para determinar la productividad en plantaciones de eucalipto.

Parcela N°	Edad (meses)	H dom. (m)	G (m ²)	Vol. (m ³)	D (cm)
1	36	13,6	6,76	36	8,3
2	36	16,8	9,18	58	9,4
3	36	13,7	7,18	36	8,6
4	36	13,1	4,4	22	8
5	36	17	10,81	68	9,6
6	36	15,4	8,35	42	8,4
7	36	16,2	10,12	62	9,6
8	36	18,5	12,75	87	10,5
9	36	14	8	54	9
10	36	13,9	6,13	32	7,9
11	48	17,9	10,38	71	10,7
12	48	20,5	11,63	86	10,9
13	48	17	10,73	67	10,8
14	48	16,9	7,4	46	10,2
15	48	20,9	14,13	110	11,7
16	48	17,1	11,97	76	10,6
17	48	22,1	12,32	96	11,2
18	48	21,9	14,52	118	11,7
19	48	15,3	7,82	45	8,7
20	48	16,8	7,99	49	9,7
21	60	18,2	8,58	59	11,2
22	60	22,2	15,8	131	11,2
23	60	19,4	14,71	105	11,6
24	60	21,9	14,66	118	12,8
25	60	23,5	15,67	136	12,6
26	60	18,9	9,27	64	9,6
27	60	18,2	9,44	64	10,2
28	72	25,3	14,93	133	13,1
29	72	24,2	14,48	125	12,5
30	72	22	13,06	106	13,3
31	72	20,4	9,73	75	11,9
32	72	25,1	17,07	154	13,6

Parcela Nº	Edad (meses)	H dom. (m)	G (m2)	Vol. (m3)	D (cm)
33	72	22,4	15,74	128	12,2
34	72	25,3	16,33	151	13,7
35	72	25,3	16,5	152	13,5
36	72	21,4	10,7	84	10,7
37	72	21,1	10,72	83	11,1
38	84	24,1	16,4	145	13,7
39	84	23,5	15,57	134	13,2
40	84	22,1	15,19	126	14,1
41	84	20,4	10,28	79	12,5
42	84	24,8	18,67	169	14,2
43	84	21,6	17,04	135	13,4
44	84	24,7	17,63	158	14,2
45	84	25,3	16,48	151	13,7
46	84	20,6	11,5	88	11,5
47	84	21,6	12,1	95	11,6
48	96	24,8	18,06	161	14,4
49	96	23,7	15,57	134	13,6
50	96	22,6	16,45	135	14,7
51	96	20,6	10,32	81	13,1
52	96	25,1	19,75	179	14,8
53	96	23	17,19	141	13,8
54	96	24,8	18,75	167	15,1
55	96	24,3	18,1	161	15,1
56	96	21,1	12,29	95	11,7
57	96	21,5	12,17	96	13,1

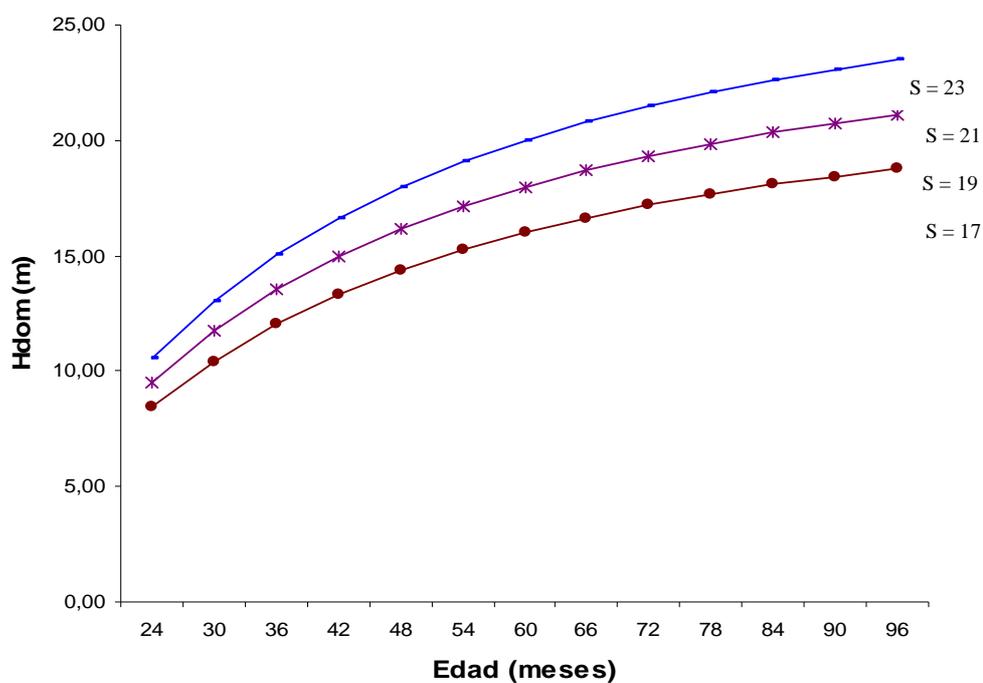
Fuente de datos: Souza (1991)

- Construir el Gráfico de dispersión de los datos de Alturas dominantes en función de la edad.
- Construir el Gráfico de dispersión de los datos de volumen en función de la edad.

- Con los resultados obtenidos completar la Tabla de Clases de Productividad

EDAD (Meses)	Hdo (m)	I (S=23)	II (S=21)	III (S = 19)	IV (S = 17)
24	10,74				
30	13,3				
36	15,34				
42	16,98				
48	18,33				
54	19,45				
60	20,39				
66	21,2				
72	21,9				
78	22,51				
84	23,04				
90	23,52				
96	23,94				

- Completar el gráfico representativo de las curvas de calidad para los respectivos índices de sitio.



- Completar la columna (S) verificando la clase de calidad a la que pertenece cada parcela usando la tabla de clases de productividad.

Parcela N°	Edad (meses)	H dom. (m)	G (m2)	Vol. (m3)	D (cm)	(S)
1	36	13,6	6,76	36	8,3	19
2	36	16,8	9,18	58	9,4	23
3	36	13,7	7,18	36	8,6	19
4	36	13,1	4,4	22	8	
5	36	17	10,81	68	9,6	
6	36	15,4	8,35	42	8,4	
7	36	16,2	10,12	62	9,6	
8	36	18,5	12,75	87	10,5	
9	36	14	8	54	9	
10	36	13,9	6,13	32	7,9	
11	48	17,9	10,38	71	10,7	
12	48	20,5	11,63	86	10,9	
13	48	17	10,73	67	10,8	
14	48	16,9	7,4	46	10,2	
15	48	20,9	14,13	110	11,7	
16	48	17,1	11,97	76	10,6	
17	48	22,1	12,32	96	11,2	
18	48	21,9	14,52	118	11,7	
19	48	15,3	7,82	45	8,7	
20	48	16,8	7,99	49	9,7	
21	60	18,2	8,58	59	11,2	
22	60	22,2	15,8	131	11,2	
23	60	19,4	14,71	105	11,6	
24	60	21,9	14,66	118	12,8	
25	60	23,5	15,67	136	12,6	
26	60	18,9	9,27	64	9,6	
27	60	18,2	9,44	64	10,2	
28	72	25,3	14,93	133	13,1	
29	72	24,2	14,48	125	12,5	
30	72	22	13,06	106	13,3	
31	72	20,4	9,73	75	11,9	
32	72	25,1	17,07	154	13,6	
33	72	22,4	15,74	128	12,2	
34	72	25,3	16,33	151	13,7	
35	72	25,3	16,5	152	13,5	
36	72	21,4	10,7	84	10,7	
37	72	21,1	10,72	83	11,1	
38	84	24,1	16,4	145	13,7	
39	84	23,5	15,57	134	13,2	
40	84	22,1	15,19	126	14,1	
41	84	20,4	10,28	79	12,5	
42	84	24,8	18,67	169	14,2	

Parcela N°	Edad (meses)	H dom. (m)	G (m2)	Vol. (m3)	D (cm)	(S)
43	84	21,6	17,04	135	13,4	
44	84	24,7	17,63	158	14,2	
45	84	25,3	16,48	151	13,7	
46	84	20,6	11,5	88	11,5	
47	84	21,6	12,1	95	11,6	
48	96	24,8	18,06	161	14,4	
49	96	23,7	15,57	134	13,6	
50	96	22,6	16,45	135	14,7	
51	96	20,6	10,32	81	13,1	
52	96	25,1	19,75	179	14,8	
53	96	23	17,19	141	13,8	
54	96	24,8	18,75	167	15,1	
55	96	24,3	18,1	161	15,1	
56	96	21,1	12,29	95	11,7	
57	96	21,5	12,17	96	13,1	

9.3. TABLAS DE PRODUCCIÓN

9.3.1 Con los mismos datos de volumen e Índice de Sitio de la tabla utilizada en las aplicaciones prácticas para la determinación de la calidad de sitio, se ajustó una ecuación con el siguiente modelo de producción:

$$\text{Ln}(V) = \text{Ln}(\beta_0) + \beta_1 (1/E) + \beta_2 (S) + \text{Ln}(E_i)$$

Del cual resultó la siguiente ecuación

$$\text{Ln}(V) = 2.74020267 - 63.59341647 (1/E) + 0.13959895 (S)$$

R²	Syx	Syx %
0,8808	16,6419	16,4714

- Con la ecuación de producción de volumen total, estime los volúmenes para cada clase de calidad (S) y para cada edad, completando la siguiente tabla.

Volumen Total (m³/ha) para eucaliptos según edad e índice de sitio.

EDAD (Meses)	I (S=23)		II (S=21)		III (S = 19)		IV (S = 17)	
36								
42								
48								
54								
60								
66								
72								
78								
84								
90								
96								

- Con los mismos datos se ajustó el siguiente modelo en el que se incluye el área basal como medida de densidad.

$$\text{Ln}(V) = \text{Ln}(\beta_0) + \beta_1 (1/E) + \beta_2 (S) + \beta_3 \text{Ln}(G) + \text{Ln}(E_i)$$

9.4. CRECIMIENTO EN PRECIO

(Crecimiento en calidad)

9.4.1 Crecimiento en precio

La evolución de la masa con el tiempo origina productos de diferente utilidad y precio, con distinta aptitud para la transformación o capacidad tecnológica. La calidad mejora a medida que avanza la edad por las mayores dimensiones y propiedades de las partes del árbol. Por lo tanto, hay un aumento en valor simultáneamente con el crecimiento en volumen, pero independiente de este, llamado crecimiento en calidad. Este crecimiento se expresa por la evolución del precio medio actual. Los precios parciales (p) corresponden a cada tipo de producto y los coeficientes (k) expresan la participación de cada tipo de producto con la edad, de manera que aumentan los correspondientes a los productos de mayor precio de mercado a medida que la masa aumenta en edad.

Si a la tabla de producción se le anexa una escala de precios medios para cada edad, se obtiene una tabla dineraria o tabla de producción en dinero en función de la edad, por lo tanto son aplicables solo a masas regulares.

- Determinar el crecimiento en calidad de la masa principal de un rodal de Araucaria, de acuerdo con los siguientes datos:

Tipo de producto	Precio \$/Tn (X)
Madera para celulosa	$P_1 = 15$
Madera para aserrado	$P_2 = 36$
Madera para debobinado	$P_3 = 50$

P_i = precio del producto por unidad (Tn)

Tabla de producción de madera comercial para Araucaria

Edad (años)	Tn/ha	Rendimiento en Tn/ha por tipo de producto		
		Celulosa	Aserrado	Debobinado
10	90	90.00	0.00	0.00
15	155	120.90	34.10	0.00
20	300	135.00	150.00	15.00
25	415	136.95	211.65	66.40
30	627	87.78	363.66	175.56
35	745	37.25	335.25	372.50
40	800	16.00	280.00	504.00
45	846	0.00	253.80	592.20
50	890	0.00	267.00	623.00

- Con los datos de la tabla de producción, calcular los coeficientes K para cada tipo de producto

Edad	Coeficientes K por tipo de producto		
	Celulosa	Aserrado	Debobinado
10			
15			
20			
25			
30			
35			
40			
45			
50			

- Determinar el precio medio unitario para cada edad

Edad	Celulosa			Aserrado			Debobinado			Pm (\$/Tn)
	P ₁ (\$/Tn)	K	K* P ₁ (\$/Tn)	P ₂ (\$/Tn)	K	K* P ₂ (\$/Tn)	P ₃ (\$/Tn)	K	K* P ₃ (\$/Tn)	
10	15			36			50			
15	15			36			50			
20	15			36			50			
25	15			36			50			
30	15			36			50			
35	15			36			50			
40	15			36			50			
45	15			36			50			
50	15			36			50			

- Construir una tabla dineraria calculando el precio de la masa para cada edad y calcular los incrementos medio y corriente anual de la producción en dinero.

Edad (años)	Tn/ha	(\$)/Tn	Importe (\$)	ICA (\$/Tn/año)	IMA (\$/Tn/año)
10	90				
15	155				
20	300				
25	445				
30	627				
35	745				
40	800				
45	846				
50	890				

- Determinar la edad de madurez aplicando el criterio del máximo incremento medio en dinero.
- Comparar con el criterio de la máxima producción en especie
- Cual fue la variación del precio medio en el plazo de 40 años, en términos de %.
- Muestre gráficamente los resultados que Ud. considere que ayudan a entender mejor el tema tratado.

- **Observaciones**

De la misma manera que la tabla de producción tiene supuestos previos, también se admite que la serie de precios se mantendrá constante en el futuro, lo que restringe su campo de aplicación, ya que en la práctica puede ocurrir que causas externas del mercado afecten los precios de los productos.

9.4.2 Problema

Ud. ha sido contratado como consultor por una empresa dedicada a la forestación con Eucaliptos con el objeto de que analice las diferentes alternativas para llevar adelante un proyecto forestal de bosques plantados, cuyas variantes son las presentadas en Cuadro 1. Las alternativas se refieren a las posibilidades de implantación de *Eucaliptus grandis* y *Eucaliptus saligna*, que pueden plantarse con diferentes espaciamientos y con diferentes niveles de fertilización.

El Departamento de Inventario de la empresa viene realizando remediciones en parcelas permanentes y determinó las funciones de producción correspondientes a cada una de las alternativas (Cuadro 1).

Asimismo, el Departamento de Economía ha determinado los datos de costos operativos para las dos densidades de plantas que se consideran (Cuadro 2). Dispone además de los costos de plantines en función del espaciamiento (Cuadro 3), y de los costos de fertilizantes, también en función del distanciamiento, expresados en U\$/ha (Cuadro 4).

Datos disponibles

Alternativas de plantación con Eucaliptus grandis y saligna.

Especie	Distancia (m x m)	Nivel de fertilización (gr/pozo)	Función de producción
Eucaliptus grandis	3 x 2,5	100	$y = 280(1 - e^{-0,0541 \cdot e^{0,045t}})$
Eucaliptus grandis	3 x 2,5	150	$y = 281(1 - e^{-0,0541 \cdot e^{0,047t}})$
Eucaliptus grandis	2,5 x 2,5	100	$y = 260(1 - e^{-0,0541 \cdot e^{0,048t}})$
Eucaliptus grandis	2,5 x 2,5	150	$y = 268(1 - e^{-0,0541 \cdot e^{0,058t}})$
Eucaliptus saligna	3 x 2,5	100	$y = 300(1 - e^{-0,0541 \cdot e^{0,049t}})$
Eucaliptus saligna	3 x 2,5	150	$y = 301(1 - e^{-0,0541 \cdot e^{0,053t}})$
Eucaliptus saligna	2,5 x 2,5	100	$y = 298(1 - e^{-0,0541 \cdot e^{0,058t}})$
Eucaliptus saligna	2,5 x 2,5	150	$y = 300(1 - e^{-0,0541 \cdot e^{0,041t}})$

En que:

y = producción en estéreos

t = edad en meses

e = base de los logaritmos neperianos

Tasa de interés = 8% anual

Función de producción para la segunda rotación = 0,9 de y

Función de producción para la tercera rotación = 0,8 de y

Costos operativos para forestaciones con eucalipto para diferentes densidades de plantación.

Año	Rubro	Items	Costo / Ha (U\$) / d. plantación	
			3,0 m x 2,5 m	2,5 m x 2,5 m
Año cero				
	Infraestructura	Construcción de caminos	35,15	35,15
		Conservación de caminos (*)	1,80	1,80
	Preparación del terreno	Desmonte	37,07	37,07
		Destoconado	104,01	104,01
		Escolerado y quema	50,34	50,34
		Retirada de vegetación	15,78	15,78
		Dos rastradas	136,09	136,09
		Alineación, marcación, surcado y distribución de plantines	6,77	12,01
		Plantación y reposición de fallas	Apertura de hoyos y colocación de plantas	22,82	22,82
	Tratamientos culturales	Carpida	52,12	21,89
		Rozada	19,31	8,49
		Combate de hormigas (*)	15,83	15,83
		Costo de administración (*)	30,00	30,00
T	Aprovechamiento	Costo de aprovechamiento /st	2,30	2,30
		Conducción de la brotación	36,10	36,10
		Limpieza de precorte	12,60	12,60
		Costo de reforma	409,04	409,04
		Valor de la tierra /ha	300,00	300,00

(*) Costos anuales

Costo de plantines en función de la densidad

Densidad (m x m)	Costo de plantines (U\$/Ha)
3 x 2,5	15,42
2,5 x 2,5	18,51

Costo de fertilizantes en función de la densidad, expresado en U\$/Ha

Densidad (m x m)	Niveles de fertilización en gr / pozo	
	100	150
3 x 2,5	39,04	58,56
2,5 x 2,5	46,85	70,27

Precio por st. de madera aprovechada = U\$ 12

El gerente del Departamento de Manejo estima que se pueden realizar hasta tres cortas aprovechando las mismas cepas y ha planteado los siguientes interrogantes a ser resueltos por el consultor:

- Cual es la edad óptima de corta para cada alternativa y qué criterios aconseja aplicar.
- Si la empresa, por razones técnicas, solo pudiera plantar *E. grandis* con distanciamiento de 3 x 2,5, cuál es el nivel de fertilización que indicaría.
- Cuál especie indicaría para una densidad de 3 x 2,5 con 100 gr de fertilizante por planta.
- Qué especie aconsejaría si el objetivo de la empresa es maximizar su renta. Con qué densidad. Con qué nivel de fertilización. A qué edad aconsejaría la corta.
- Para facilitar el análisis se solicita una tabla de costos en la que se analice el peso de los diferentes rubros en el costo total.
- Cuál es el costo de la madera en pie considerando una corta y tres cortas de la misma cepa.
- Eventualmente convendría volver a plantar luego de la primera corta, en lugar de aprovechar el rebrote.

9.5. ORDENACIÓN

9.5.1 MÉTODO DE DIVISIÓN DE SUPERFICIE

Distribución de la superficie del cuartel (S) entre las edades del vuelo

- a. Determinar la superficie de corta anual en un monte tratado por cortas anuales continuas, cuya superficie forestal es de 600 has. El turno (T) se ha fijado en 30 años y la regeneración es inmediata.

$$S =$$

$$T =$$

$$S_a =$$

El monte queda organizado en una serie, cuyas edades difieren en entre los rodales. Son tramos de ha cada uno.

- b. Idem al caso anterior, con retraso de la regeneración de 5 años.

$$Z =$$

$$S_a = \text{-----}$$

Se agregan tramos en regeneración de menor que los anteriores.

$$N^\circ \text{ de tramos anuales} =$$

$$\text{Superficie de cada tramo} =$$

c. Determinar la Superficie de corta anual (S_a) en un monte bajo tratado por cortas anuales intermitentes cada 5 años. La superficie del cuartel es de 400 has. y el Turno es de 40 años. La regeneración es inmediata.

$$S = \quad h =$$

$$T = \quad S_a = \text{-----}$$

Frecuencia de corta en el Turno = ----- =

Son tramos de has, que se cortan uno cada años.

El monte queda ordenado como una serie de rodales iguales.

d. Idem al caso anterior pero con retraso de la regeneración de 10 años.

El cuartel quedará ordenado en tramos en forma de una serie de rodales iguales, de los cuales serán vacío móvil.

9.5.2 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE DIVISIÓN DE SUPERFICIE

Un monte raso fue repoblado en distintas etapas En 1992 se inicia el proyecto de ordenación de 600 has pobladas con *Eucalyptus globulus*. El cuartel se ha dividido en 15 cantones, en cuya formación se consideró la edad, conocida por la fecha de plantación.

El inventario no detectó diferencias de calidad de la estación luego del estudio de la evolución altura - edad.

Se decidió ordenar el monte por división en cabida y cortas a hecho considerando: las pendientes suaves del terreno, el temperamento de la especie y la facilidad de rebrote. El turno se fijó en 12 años. Se decidió también que las cortas a hecho serían persistentes dada la extensión y la productividad del monte.

Objetivo de la organización

Formar tramos de corta anual

Datos de Inventario

Edades y superficies de los grupos de rodales

Grupo (N°)	Edad(años)	Superficie(has)
1	5	40
2	8	50
3	10	70
4	11	50
5	9	80
6	12	40
7	13	30
8	7	30
9	6	30
10	4	40
11	14	20
12	15	20
13	1	30
14	3	50
15	2	20

Solución

Cálculo de la superficie de cada tramo

S = 600 ha

T = 12 años

N° tramos = 12

$$s = S/T =$$

Al comienzo del año 13 el cuartel quedará organizado como serie de ha cada uno., con edades de a años.

FORMACIÓN DE TRAMOS

Criterio de Cortabilidad:

Se cortan los extramaduros y de edades superiores al turno.

Tramo I - A cortar en 1992			
Grupo	Edad actual	Edad de corta	Superficie
Total Tramo I			

Tramo II - A cortar en 1993			
Grupo	Edad actual	Edad de corta	Superficie
Total Tramo II			

Tramo III - A cortar en 1994			
Grupo	Edad actual	Edad de corta	Superficie
Total Tramo III			

Tramo IV - A cortar en 1995			
Grupo	Edad actual	Edad de corta	Superficie
Total Tramo IV			

Tramo V - A cortar en 1996			
Grupo	Edad actual	Edad de corta	Superficie
Total Tramo V			

Tramo VI - A cortar en 1997			
Grupo	Edad actual	Edad de corta	Superficie
Total Tramo VI			

Tramo VII - A cortar en 1998			
Grupo	Edad actual	Edad de corta	Superficie
Total Tramo VII			

Tramo VIII - A cortar en 1999			
Grupo	Edad actual	Edad de corta	Superficie
Total Tramo VIII			

Tramo IX - A cortar en el 2000			
Grupo	Edad actual	Edad de corta	Superficie
Total Tramo IX			

Tramo X - A cortar en 2001			
Grupo	Edad actual	Edad de corta	Superficie
Total Tramo X			

Tramo XI - A cortar en 2002			
Grupo	Edad actual	Edad de corta	Superficie
Total Tramo XI			

Tramo XII - A cortar en 2003			
Grupo	Edad actual	Edad de corta	Superficie
Total Tramo XII			

- Verificar si se han producido sacrificios de cortabilidad.

9.5.3 FORMACIÓN DE TRAMOS CON DISTINTA CALIDAD DE SITIO

Se pretende ordenar un monte de *Pinus radiata* por el método de división por superficie con cortas a hecho seguidas de plantación.

El turno se fijó en 25 años. Se decidió que las cortas sean intermitentes cada 5 años.

El monte tiene una superficie total poblada de 500 ha. A efectos del inventario se consideró un único cuartel dividido en 12 grupos de rodales formados de acuerdo a los años en que se plantaron las masas.

El objetivo es tener un rendimiento sostenido de madera en plazos quinquenales una vez organizado el cuartel en serie graduada de tranzones equiproductivos, con calidad heterogénea.

- a. Formar los tramos
- b. Detectar los sacrificios de cortabilidad.

Datos de inventario

Producciones totales de la masa a los 25 años:

Calidad I	592,7 m ³ /ha
Calidad II	378,7 "
Calidad III	218,8 "

Edades, calidades y cabidas en el año 1981.

Grupo	Año de plantación	Calidad	Superficie (ha)
1	1.975	II	50
2	1.976	II	50
3	1.971	III	70
4	1.961	II	20
5	1.960	I	35
6	1.957	II	40
7	1.956	II	40
8	1.955	I	25
9	1.964	II	50
10	1.966	I	20
11	1.972	II	50
12	1.963	II	50

Solución

Clasificación de superficies por calidad

Calidad	Grupo	Superficie (ha)
I		
Total I		
II		
Total II		
III		
Total III		

Producción por ha de calidad media:

Cálculo de los factores de reducción a calidad media de las has de I, II y III

$$1 \text{ ha de calidad media} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ ha de calidad I}$$

$$1 \text{ ha de calidad media} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ ha de calidad II}$$

$$1 \text{ ha de calidad media} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ ha de calidad III}$$

Equivalencias de las calidades I, II y III a calidad media:

$$1 \text{ ha de calidad I} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ ha de calidad media}$$

$$1 \text{ ha de calidad II} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ ha de calidad media}$$

1 ha de calidad III = _____ = _____ ha de calidad media

Superficie reducida del cuartel:

$S_r = \quad + \quad + \quad = \quad$ ha

Superficie reducida del Tramo:

$S_r =$

Formación de tramos

Tramo I a cortar en 1981

(Considerar los cantones de mayor edad)

Grupo	Calidad	Edad (Fecha de plant.)	Superficie (ha)	
			Real	Reducida
	I	26 (1955)		
	II	25 (1956)		
	II	24 (1957)		
Totales				115,5

Sobran 115,5 - = _____ ha de calidad media

Superficie real: ha c. media x = ha

El Tramo I quedará formado por:

Grupo	Edad	Superficie (ha)	
		real	reducida
(entero)	26		
(entero)	25		
(parte)	24		
Totales			

Formación del Tramo II

Se incluirán las has que sobraron del Grupo y luego se ordenan de mayor a menor edad:

Grupo	Calidad	Edad (Fecha de plant.)	Superficie (ha)	
			Real	Reducida
	II		16	
	I		35	
	II		20	
Totales				88,0

Grupo	Edad	Superficie (ha)	
		real	reducida
6 (Parte)	29	16	15,5
5 (entero)			
Totales			

Sacrificio de cortabilidad: Grupo de has y años.

Formación del Tramo III

A cortar en 1991

Grupo	Calidad	Edad (Fecha de plant.)	Superficie (ha)	
			Real	Reducida
	II			
	II			
	I			
Totales				

Grupo	Edad	Superficie (ha)	
		real	reducida
(Parte)	28		
(entero)			
Totales			

Formación del Tramo IV

A cortar en 1996

Grupo	Calidad	Edad (Fecha de plant.)	Superficie (ha)	
			Real	Reducida
10 ()				
Totales				

Grupo	Edad	Superficie (ha)	
		real	reducida
Totales			

Formación del Tramo V

A cortar en 2001

Grupo	Calidad	Edad (Fecha de plant.)	Superficie (ha)	
			Real	Reducida
Totales				

9.5.4 CALCULO DE LA POSIBILIDAD

Formados los tranzones anteriores, cuya superficie es la posibilidad quinquenal, se pide estimar la posibilidad en volumen de productos finales de los años 1981 (T I), 19786 (T II y 1991 (T III) de los primeros 10 años del proyecto, tiempo para el cual se consideran válidos las existencias y crecimientos del inventario de 1981.

Cuadro – Resultados del Inventario realizado en 1981

Grupo	Edad	Calidad	Superficie	Existencias	
				V cc M3/ha	ICA M3/ha/año
1	6	II	50	34.8	--
2	5	II	50	29	--
3	10	III	70	16	3
4	20	II	20	139.4	10.6
5	21	I	35	241.4	10.7
6	24	II	40	163.2	8.4
7	25	II	400	198	9.7
8	26	I	25	292.3	8.1
9	17	II	50	107.7	10.6
10	15	I	20	158	16
11	9	II	50	52	6.5
12	18	II	50	126.7	11.3

Tramo I (1981)

Grupo	Edad		Superficie (ha)	Existencias en 1981		Vol. Corta (M3)
	Año inv.	Año corta		V cc M3/ha	ICA M3/ha/año	
TOTAL POSIBILIDAD 1981						

Tramo II (1986)

Grupo	Edad		Superficie (ha)	Existencias en 1981		Vol. Corta (M3)
	Año inv.	Año corta		V cc M3/ha	ICA M3/ha/año	
TOTAL POSIBILIDAD 1986						

Tramo III (1991)

Grupo	Edad		Superficie (ha)	Existencias en 1981		Vol. Corta (M3)
	Año inv.	Año corta		V cc M3/ha	ICA M3/ha/año	
TOTAL POSIBILIDAD 1991						

RESUMEN:

Posibilidad 1981:

Posibilidad 1986:

Posibilidad 1991:

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aguerre, M. et.al. 1995. Manual para productores de Eucaliptos de la Mesopotamia Argentina. SAGyP – INTA
- Avery, E. (1967) Forest Measurements. Mc Graww Hill.
- Carabelli, F.A. 1993. "Ordenación forestal. Apuntes teóricos". Publicación Docente N° 1. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Patagonia. Esquel, Chubut. 90 p.
- Clutter, J.L; Fortson, J.C.; Pienaar, L.V.; Brister, G.H. y Bailey, R.L.1983. "Timber management: a quantitative approach". John Wilwy & Sons, New York. 333 p.
- Glade, J.E. 1999. Curvas de Índices de Sitio para Eucaliptus grandis en Entre Ríos. EEA INTA Concordia.
- Husch, B.; Miller, C.I. y Beers, T.W. 1972. "Forest mensuration". 2nd ed. New York, The Ronald Press Company. 410 p.
- Husch, B. 1963. Forest Mensuration and Statistics. The Ronald Press Company. N.York
- Leuschner, W.A. 1984. "Introduction to forest resource management". John Wilwy & Sons, New York. 298 p.
- Mackay, E.1961. "Fundamentos y métodos de la ordenación de montes". Segunda Edición, Primera y Segunda Parte. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid. 768 p.
- Mackay, E. 1964. "Dasometría, teoría y técnica de las mediciones forestales". Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid. 760 p.
- Madrigal C. A. 1994. "Ordenación de Montes Arbolados". ICONA. Madrid, España. 375 p.
- Meyer, A.H.; Recknagel, A.B.; Stevenson, D.D. y Bartoo, R.A.1961. "Forest management". 2nd ed. New York, The Ronald Press Company. 282 p.
- Odum et al. 1988."Environmental Systems and Public Policy" Ecological Economics Program. University of Florida, Gainesville 32611, USA.
- OFFICE NATIONAL DES FORETS, 1989. Manuel d'Aménagement". 3ª edición, Ministère de l'Agricultura et de la Foret. Paris.
- Souza, A.L. 1991. Manejo Florestal. Apuntes de Cátedra. Departamento de Florestas. Universidad Federal de Viçosa. Brasil.