

MF013 MANEJO FORESTAL II

NIVEL	:	PREGRADO
CARRERA	:	INGENIERÍA FORESTAL
CARÁCTER	:	OBLIGATORIO
SEMESTRE	:	2 / 2008
REQUISITOS	:	MF012, MANEJO I
PROFESOR RESPONSABLE	:	HORACIO BOWN
E-MAIL	:	hborn@uchile.cl
Fono	:	978 5872

U-CURSOS
www.u-cursos.cl

Avisos, Pruebas, mails, lecturas, cátedras, software y links

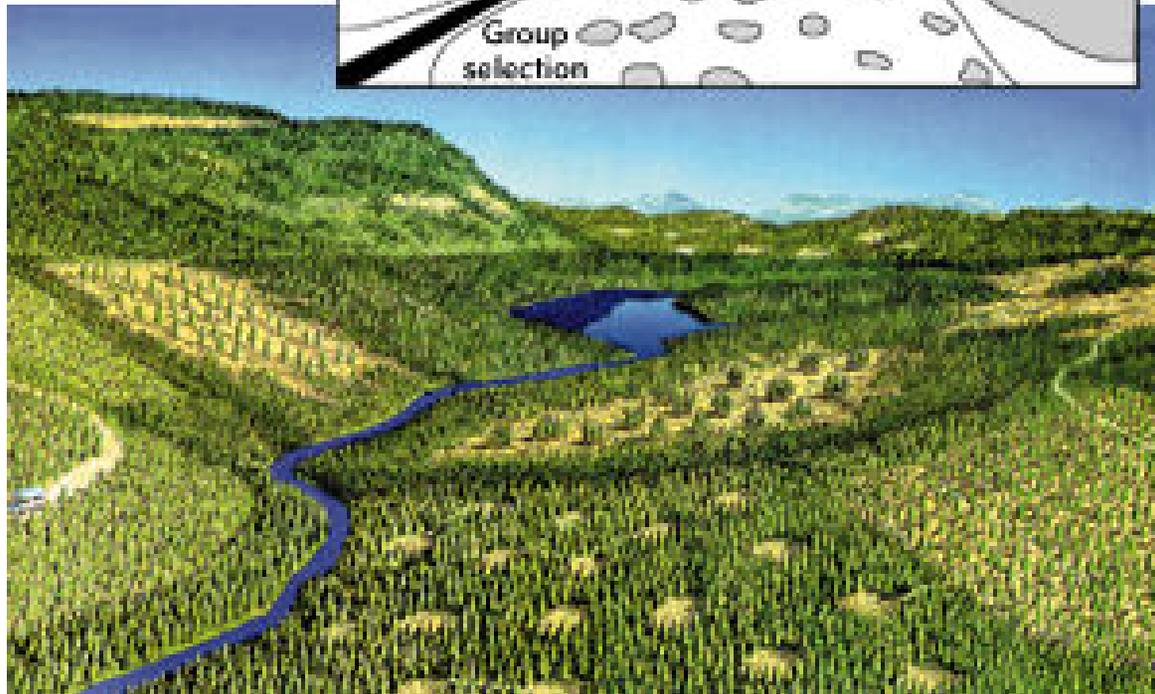
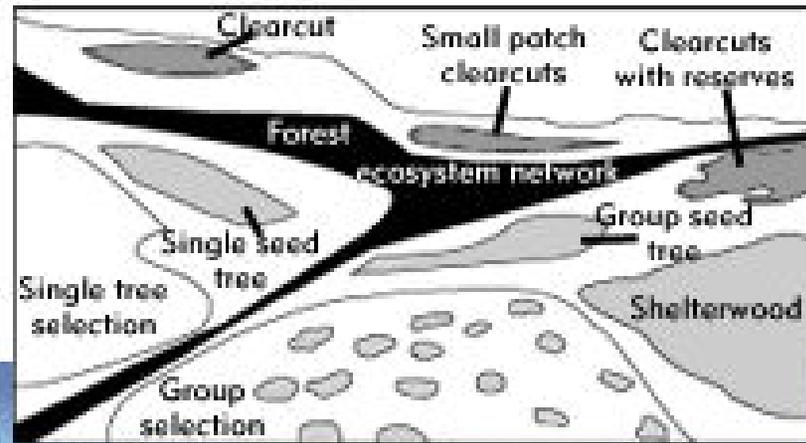
ENFOQUE TRADICIONAL A LA ORDENACIÓN FORESTAL

- VALOR DOCENTE
- ALGUNAS POSIBILIDADES DE APLICACIÓN EN BOSQUES NATIVOS
- NINGUNA POSIBILIDAD DE APLICARLO EN PLANTACIONES



Even-aged stand

MODELOS DE ORDENACIÓN FORESTAL



PROBLEMA DE ORDENACIÓN

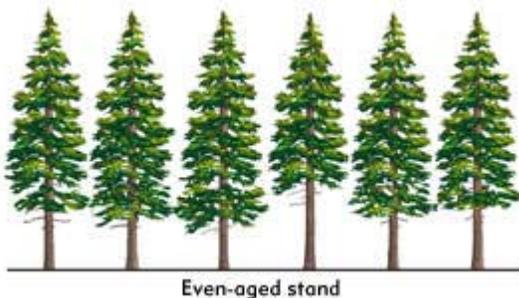
1. consiste en asignar recursos (forestales) escasos en forma óptima para satisfacer las necesidades actuales y futuras de la sociedad en su conjunto.
2. Operativamente, consiste en decidir cómo, cuándo y dónde intervenir para satisfacer a niveles aceptables los objetivos de quien toma decisiones.
3. La elección de una estrategia de ordenación usualmente implica compromisos económicos, que suelen ser irreversibles, sobre las inversiones, las ganancias y las actividades industriales (Villanueva, 1992).

SIMPLIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE ORDENACIÓN

1. Ordenación considera procesos de planificación, gestión y control.
2. Planificación considera: colección de información, definición de objetivos, priorización, evaluación de alternativas y toma de decisiones.
3. La gestión consiste en la ejecución de lo planificado.
4. El control implica la revisión y comparación entre lo planificado y lo ejecutado (Madrigal, 1995).

SIMPLIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE ORDENACIÓN

- (a) construir modelos separados para cada nivel jerárquico,
- (b) implementar soluciones sobre un horizonte de planificación que se actualiza constantemente
- (c) reconocer explícitamente la incertidumbre



SIMPLIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE ORDENACIÓN

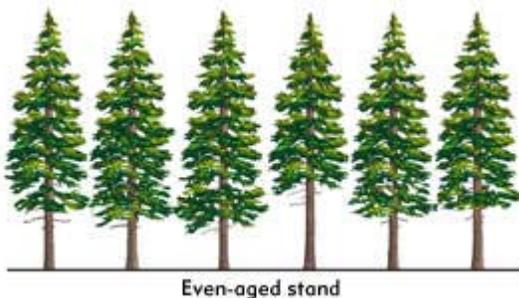
(a) construir modelos separados para cada nivel jerárquico,

- i. modelos de nivel superior serán utilizados con información agregada,
- ii. generando los lineamientos que podrán ser utilizados en los niveles de decisión inferior,
- iii. donde se utilizará información más detallada.

SIMPLIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE ORDENACIÓN

(b) implementar soluciones sobre un horizonte de planificación que se actualiza constantemente (móvil)

- Antes de implementar futuras fases, se debe desarrollar una actualización de dicho plan.



SIMPLIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE ORDENACIÓN

(c) reconocer explícitamente la incertidumbre

- el ambiente de planificación es incierto y que la mayor parte de dicha incertidumbre corresponde a periodos lejanos en el futuro.
- modelos estratégicos usarán información agregada que permitirá guiar en forma aproximada las políticas que intentan optimizar la producción de los bosques en el tiempo, dejando decisiones detalladas para que sean hechas cuando información más precisa se encuentre disponible (Gunn, 1991).

Modelos de ordenación de nivel estratégico

- Un modelo de ordenación es una herramienta que permite programar la secuencia de intervenciones silviculturales de un conjunto de rodales que conforman el patrimonio de una organización, de una región o de un país.
- Permiten analizar cómo, cuándo y dónde intervenir para satisfacer los objetivos de la ordenación, basado en las restricciones del medio y de su entorno.
- Los modelos de ordenación representan la realidad en forma simplificada por lo que permiten apoyar la toma de decisiones pero no constituyen decisión.
- La importancia de los modelos de ordenación radica que las políticas óptimas a nivel del rodal son raramente óptimas a nivel patrimonial (García, 1984).

Simulación vs Optimización

- Para programar secuencia de intervenciones se ha utilizado simulación y optimización
- Modelos de optimización generalmente requieren considerable simplificación de objetivos y número de variables
- Modelos de simulación operan nivel más detallado,
- Evalúan reducida proporción del universo de posibilidades, con el peligro de no considerar la más apropiada.
- Simulación y Optimización herramientas complementarias más que competitivas.

MODELOS BASADOS EN SIMULACIÓN

- Modelos simulación proyectan distribuciones de clases de edad, considerando el estado actual del patrimonio y la política de intervención definida por el usuario.
- A base de las distribuciones de clases de edad se proyecta los volúmenes cosechados y se calcula los criterios de desempeño de la política adoptada (e.g. valor presente neto).
- La programación de estos algoritmos, ha dado origen a aplicaciones utilizadas rutinariamente en ordenación.
- Ejemplos: RMS (Resource Maturity Simulator - Allison, 1986) e IFS (Interactive Forest Simulator - García, 1981).

MODELOS BASADOS EN OPTIMIZACION

- Los modelos basados en optimización permiten buscar aquellas soluciones que sustentan los mayores niveles de logro, entre todas aquellas que satisfacen las restricciones del medio y de su entorno.
- La búsqueda de la mejor solución se realiza mediante algoritmos eficientes sean exactos o heurísticos, lineales o no lineales, dependiendo de la naturaleza del problema.

OPTIMIZACION

A partir de la década de los sesenta, se generaron una gran cantidad de modelos de ordenación basados fundamentalmente en programación matemática lineal (Curtis, 1962; Loucks, 1964; Nautiyal y Pearse, 1967).

No fue hasta la década de los 70 que los modelos llegaron a estar disponibles y a ser utilizados en forma rutinaria en ordenación.

Johnson y Scheurman (1977) revisaron y analizaron los modelos existentes a esa fecha y los clasificaron en dos categorías (I y II).

En la categoría I, la identidad de las unidades de análisis se mantiene íntegra a lo largo del horizonte de planificación. Sin embargo, estas pueden ser fraccionadas mediante la aplicación de distintos regímenes silviculturales en cada una de ellas.

Aún así es posible rastrear la identidad de las unidades originales. A continuación se presenta un ejemplo de modelo I.

Ejemplo 7.1.5 Considere un patrimonio formado por tres rodales de similar productividad y que serán intervenidos de manera tal que se maximice la rentabilidad del cultivo sujeto a restricciones de rendimiento no decreciente. Considere un horizonte de planificación de 30 años y periodos de 10 años. Formule, resuelva y analice el problema de ordenación considerando la superficie de los rodales, la tabla de rendimientos y parámetros financieros. Utilice una formulación de tipo I.

	Superficie (ha)	Edad (años)
A	300	5
B	500	15
C	150	25

Tasa de descuento : 8% p.a.
 Ingreso neto por m³ : 5 M\$/m³
 Obvie costos de formación.

Edad (años)	Rendimiento (m ³ /ha)
0	0
10	152
20	449
30	781
40	965
50	1074
60	1115

Resolución 7.1.5. El problema de ordenación se formula al explicitar variables de decisión, parámetros, función objetivo y restricciones.

Sea X_{it} la variable de decisión que representa la superficie del rodal “i” que será cosechado en el periodo “t”. El sub-índice “i” variará desde 1 a 3 dependiendo de si se trata del rodal A, B o C respectivamente. El subíndice “t” variará entre 1 y 3 dado que se trata de tres periodos sucesivos de 10 años. Por ejemplo X_{32} representa la superficie del rodal C que será cosechada en el segundo periodo. Existirán entonces nueve variables de decisión cuyo valor interesa conocer.

Sea V_{it} el parámetro que representa el rendimiento que se obtendría al cosechar una hectárea del rodal “i” en el periodo “t”. Además se tiene el parámetro I_{it} que representa los ingresos netos descontados producto de cosechar una hectárea del rodal i en el periodo t. La tabla a continuación explicita el valor de los parámetros.

Periodo	RODAL A (i=1)			RODAL B (i=2)			RODAL C (i=3)		
	Edad	V_{1t}	I_{1t}	Edad	V_{2t}	I_{2t}	Edad	V_{3t}	I_{3t}
1 [0-10]	10	152	517	20	449	1528	30	781	2658
2 [11-20]	20	449	707	30	781	1231	40	965	1521
3 [21-30]	30	781	570	40	965	705	50	1074	784

La función objetivo puede ser representada mediante la sumatoria de las superficies cosechadas (X_{it}) por los ingresos netos descontados (I_{it}). En forma implícita esto se expresa como:

$$\text{Max } z = \sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^3 I_{it} X_{it}$$

Mientras que la forma explícita de la función objetivo se expresa como:

$$\text{Max } z = 517 X_{11} + 707 X_{12} + 570 X_{13} + 1528 X_{21} + 1231 X_{22} + 705 X_{23} + 2658 X_{31} + 1521 X_{32} + 784 X_{33}$$

Las restricciones al modelo de ordenación pueden ser divididas en estructurales o duras y atribuibles a la ordenación o blandas. Las restricciones estructurales se refieren a los recursos limitados que se tiene disponibles. En este caso, implican que no se puede cosechar una superficie mayor a la existente en cada rodal. En forma implícita esto se expresa como:

$$\sum_{t=1}^3 X_{it} \leq a_i \quad \forall i = 1, 2, 3 \quad ; \text{ donde } a_i \text{ representa la superficie de cada rodal}$$

Mientras que en forma explícita esto se expresa como:

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} \leq 300 \text{ ha}$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} \leq 500 \text{ ha}$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} \leq 150 \text{ ha}$$

Las restricciones atribuibles a la ordenación o blandas corresponden a aquellas restricciones impuestas por el entorno económico, social y ambiental del recurso. En este caso, se establece que los rendimientos totales por periodo (R_t) no deben decrecer en el tiempo. Esto se puede realizar tomando parejas de periodos sucesivos; y estableciendo que el rendimiento en un periodo no debe ser inferior al anterior:

$$R_2 \geq R_1 \quad \Rightarrow \quad R_2 - R_1 \geq 0$$

$$R_3 \geq R_2 \quad \Rightarrow \quad R_3 - R_2 \geq 0$$

Pero;

$$R_1 = 152 X_{11} + 449 X_{21} + 781 X_{31} \quad (\text{Volumen total cosechado en el periodo 1})$$

$$R_2 = 449 X_{12} + 781 X_{22} + 965 X_{32} \quad (\text{Volumen total cosechado en el periodo 2})$$

$$R_3 = 781 X_{13} + 965 X_{23} + 1074 X_{33} \quad (\text{Volumen total cosechado en el periodo 3})$$

Entonces;

$$R_2 - R_1 = 449 X_{12} + 781 X_{22} + 965 X_{32} - 152 X_{11} - 449 X_{21} - 781 X_{31} \geq 0$$

$$R_3 - R_2 = 781 X_{13} + 965 X_{23} + 1074 X_{33} - 449 X_{12} - 781 X_{22} - 965 X_{32} \geq 0$$

Y en forma implícita;

$$\sum_{i=1}^3 X_{it+1} V_{it+1} - \sum_{i=1}^3 X_{it} V_{it} \geq 0 \quad \forall t = 1, 2$$

De esta forma, la formulación del problema de ordenación es la siguiente:

$$\text{Max } z = 517 X_{11} + 707 X_{12} + 570 X_{13} + 1528 X_{21} + 1231 X_{22} + 705 X_{23} + 2658 X_{31} + 1521 X_{32} + 784 X_{33}$$

s.a.

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} \leq 300 \text{ ha}$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} \leq 500 \text{ ha}$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} \leq 150 \text{ ha}$$

$$449 X_{12} + 781 X_{22} + 965 X_{32} - 152 X_{11} - 449 X_{21} - 781 X_{31} \geq 0$$

$$781 X_{13} + 965 X_{23} + 1074 X_{33} - 449 X_{12} - 781 X_{22} - 965 X_{32} \geq 0$$

LP OPTIMUM FOUND AT STEP

6

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 1255714.

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	0.000000	317.616638
X12	18.378748	0.000000
X13	281.621246	0.000000
X21	228.944763	0.000000
X22	271.055237	0.000000
X23	0.000000	389.898804
X31	150.000000	0.000000
X32	0.000000	678.097900
X33	0.000000	1277.670532

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
A)	0.000000	772.846924
B)	0.000000	1345.535522
C)	0.000000	2340.617432
2&1)	0.000000	-0.406380
3&2)	0.000000	-0.259727

En un modelo tipo II, la identidad se pierde cuando dos unidades de análisis (o rodales) de distintas edades son cosechadas y regenerados como una misma estructura, por lo que se hace difícil rastrear que parte de la superficie cosechada pertenece a una u otra unidad de análisis (o rodal). A continuación se presenta un ejemplo de modelo II.

Ejemplo 7.1.6. Considere un patrimonio formado por tres rodales de similar productividad y que serán intervenidos de manera tal que se maximice la rentabilidad del cultivo sujeto a restricciones de rendimiento no decreciente. Considere la posibilidad de cosechar más de una vez una misma hectárea sobre un horizonte de planificación de 60 años con periodos de 10 años. Formule, resuelva y analice el problema de ordenación considerando la superficie de los rodales, la tabla de rendimientos y parámetros financieros. Utilice una formulación de tipo II.

	Superficie (ha)	Edad (años)
A	300	5
B	500	15
C	150	25

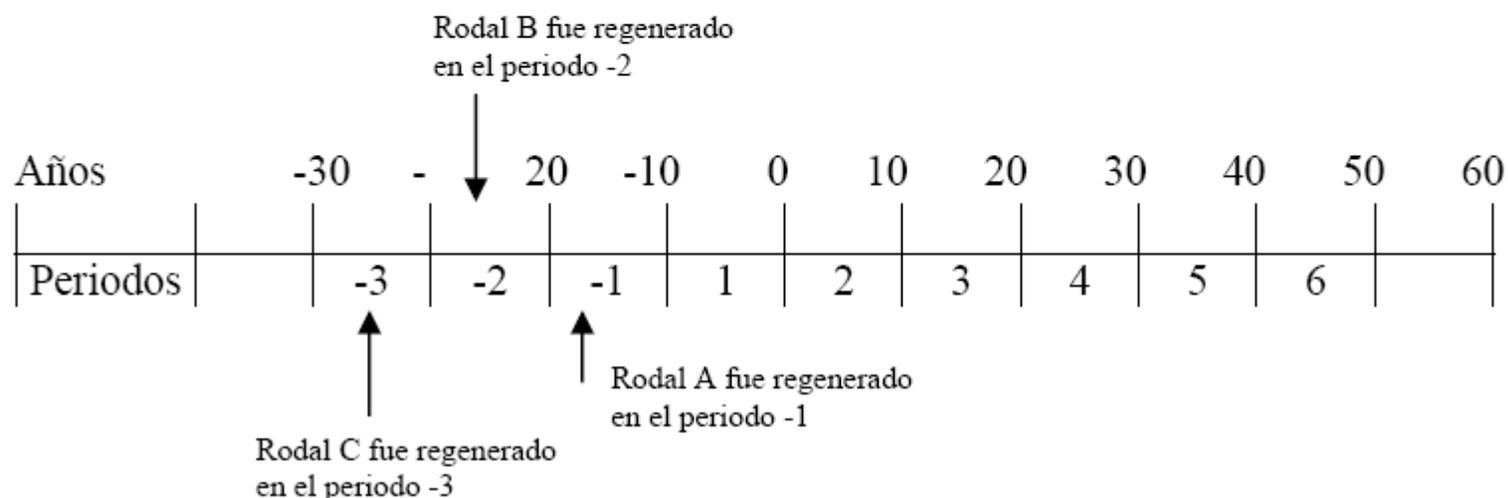
Tasa de descuento : 8% p.a.
 Ingreso neto por m³ : 5 M\$/m³
 Obvie costos de formación.

Edad (años)	Rendimiento (m ³ /ha)
0	0
10	152
20	449
30	781
40	965
50	1074
60	1115

Resolución 7.1.6. El problema de ordenación se formula al explicitar variables de decisión, parámetros, función objetivo y restricciones.

a) *Variable de decisión*

Para entender la variable de decisión resulta útil representar el tiempo mediante una línea donde el valor cero representa el tiempo actual, los valores negativos el pasado y los valores positivos el futuro.



Y_{ij} = superficie regenerada en el periodo “i” y cosechada en el periodo “j”, posterior a lo cual será inmediatamente regenerada.

Se debe considerar que los rodales A, B y C fueron regenerados 5, 15 y 25 años antes del inicio del horizonte de planificación, vale decir en los periodos -1, -2 y -3 respectivamente. De esta forma, las variables de decisión pueden ser divididas entre aquellas donde el bosque fue regenerado antes del año 0 (Grupo 1) y después del año 0 (Grupo 2).

Grupo 1

Y_{-11}	Y_{-12}	Y_{-13}	Y_{-14}	Y_{-15}	Y_{-16}
Y_{-21}	Y_{-22}	Y_{-23}	Y_{-24}	Y_{-25}	Y_{-26}
Y_{-31}	Y_{-32}	Y_{-33}	Y_{-34}	Y_{-35}	Y_{-36}

Grupo 2

Y_{12}	Y_{23}	Y_{34}	Y_{45}	Y_{56}
Y_{13}	Y_{24}	Y_{35}	Y_{46}	
Y_{14}	Y_{25}	Y_{36}		
Y_{15}	Y_{26}			
Y_{16}				

Por ejemplo Y_{-23} significa la superficie que fue regenerada en el periodo -2 (rodal B) y que será cosechada en el periodo 3. De la misma forma Y_{35} representa la superficie regenerada en el periodo 3 y cosechada en el periodo 5.

Además el número de variables puede ser reducido considerablemente al considerar una edad mínima y una edad máxima de cosecha. Para el ejemplo, al establecer una edad mínima de 20 años y una máxima de 40 años, el número de variables se reduce desde 33 a 17 variables (encuadradas).

b) *Parámetros*

Como parámetros fundamentales se establecen los rendimientos que se obtendrían en el periodo “j” al cosechar una hectárea regenerada en el periodo “i” (V_{ij}) y los ingresos netos descontados producto de cosechar dicha superficie (I_{ij}).

Grupo	Var	Edad	V1t	I1t	Grupo	Var	Edad	V1t	I1t
	Y ₋₁₂	20	449	707		Y ₁₃	20	449	328
	Y ₋₁₃	30	781	570		Y ₁₄	30	781	264
	Y ₋₁₄	40	965	326		Y ₁₅	40	965	151
	Y ₋₂₁	20	449	1528		Y ₂₄	20	449	152
1	Y ₋₂₂	30	781	1231	2	Y ₂₅	30	781	122
	Y ₋₂₃	40	965	705		Y ₂₆	40	965	70
	Y ₋₃₁	30	781	2658		Y ₃₅	20	449	70
	Y ₋₃₂	40	965	1521		Y ₃₆	30	781	57
						Y ₄₆	20	449	33

c) Función Objetivo

La función objetivo puede ser representada mediante la sumatoria de las superficies cosechadas (Y_{ij}) por los ingresos netos descontados (I_{it}). Esto se expresa como:

$$\begin{aligned} \text{Max } z = & 707 Y_{-12} + 570 Y_{-13} + 326 Y_{-14} + 1528 Y_{-21} + 1231 Y_{-22} + 705 Y_{-23} + 2658 Y_{-31} + 1521 Y_{-32} \\ & + 328 Y_{13} + 264 Y_{14} + 151 Y_{15} + 152 Y_{24} + 122 Y_{25} + 70 Y_{26} + 70 Y_{35} + 57 Y_{36} + 33 Y_{46} \end{aligned}$$

d) Restricciones estructurales

d.1) La superficie en cada clase de edad en el año cero debe ser cosechada a lo largo del horizonte de planificación.

$$Y_{-12} + Y_{-13} + Y_{-14} = 300 \text{ ha}$$

$$Y_{-21} + Y_{-22} + Y_{-23} = 500 \text{ ha}$$

$$Y_{-31} + Y_{-32} = 150 \text{ ha}$$

d.2) La superficie cosechada en cada periodo debe ser regenerada inmediatamente y subsecuentemente cosechada

$$Y_{-21} + Y_{-31} = Y_{13} + Y_{14} + Y_{15}$$

$$Y_{-12} + Y_{-22} + Y_{-32} = Y_{24} + Y_{25} + Y_{26}$$

$$Y_{-13} + Y_{-23} = Y_{35} + Y_{36}$$

$$Y_{-14} = Y_{46}$$

e.1) Restricciones de rendimiento no decreciente.

Se establece que los rendimientos totales por periodo (R_t) no deben decrecer en el tiempo. Esto se puede realizar tomando parejas de periodos sucesivos; y estableciendo que el rendimiento en un periodo no debe ser inferior al anterior:

$$R_2 \geq R_1 \quad \Rightarrow \quad R_2 - R_1 \geq 0$$

$$R_3 \geq R_2 \quad \Rightarrow \quad R_3 - R_2 \geq 0$$

$$R_4 \geq R_3 \quad \Rightarrow \quad R_4 - R_3 \geq 0$$

$$R_5 \geq R_4 \quad \Rightarrow \quad R_5 - R_4 \geq 0$$

$$R_6 \geq R_5 \quad \Rightarrow \quad R_6 - R_5 \geq 0$$

Pero;

$$R_1 = 449 Y_{-21} + 781 Y_{-31} \quad (\text{Volumen total cosechado en el periodo 1})$$

$$R_2 = 449 Y_{-12} + 781 Y_{-22} + 965 Y_{-32} \quad (\text{Volumen total cosechado en el periodo 2})$$

$$R_3 = 449 Y_{13} + 781 Y_{-13} + 965 Y_{-23} \quad (\text{Volumen total cosechado en el periodo 3})$$

$$R_4 = 449 Y_{24} + 781 Y_{14} + 965 Y_{-14} \quad (\text{Volumen total cosechado en el periodo 4})$$

$$R_5 = 449 Y_{35} + 781 Y_{25} + 965 Y_{15} \quad (\text{Volumen total cosechado en el periodo 5})$$

$$R_6 = 449 Y_{46} + 781 Y_{36} + 965 Y_{26} \quad (\text{Volumen total cosechado en el periodo 6})$$

Entonces;

$$R_2 - R_1 = 449 Y_{-12} + 781 Y_{-22} + 965 Y_{-32} - 449 Y_{-21} + 781 Y_{-31} \geq 0$$

$$R_3 - R_2 = 449 Y_{13} + 781 Y_{-13} + 965 Y_{-23} - 449 Y_{-12} + 781 Y_{-22} + 965 Y_{-32} \geq 0$$

$$R_4 - R_3 = 449 Y_{24} + 781 Y_{14} + 965 Y_{-14} - 449 Y_{13} + 781 Y_{-13} + 965 Y_{-23} \geq 0$$

$$R_5 - R_4 = 449 Y_{35} + 781 Y_{25} + 965 Y_{15} - 449 Y_{24} + 781 Y_{14} + 965 Y_{-14} \geq 0$$

$$R_6 - R_5 = 449 Y_{46} + 781 Y_{36} + 965 Y_{26} - 449 Y_{35} + 781 Y_{25} + 965 Y_{15} \geq 0$$

De esta forma, la formulación del problema de ordenación es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Max } z = & 707 Y_{-12} + 570 Y_{-13} + 326 Y_{-14} + 1528 Y_{-21} + 1231 Y_{-22} + 705 Y_{-23} + 2658 Y_{-31} + 1521 Y_{-32} \\ & + 328 Y_{13} + 264 Y_{14} + 151 Y_{15} + 152 Y_{24} + 122 Y_{25} + 70 Y_{26} + 70 Y_{35} + 57 Y_{36} + 33 Y_{46} \end{aligned}$$

s.a.

$$Y_{-12} + Y_{-13} + Y_{-14} = 300 \text{ ha}$$

$$Y_{-21} + Y_{-22} + Y_{-23} = 500 \text{ ha}$$

$$Y_{-31} + Y_{-32} = 150 \text{ ha}$$

$$Y_{-21} + Y_{-31} = Y_{13} + Y_{14} + Y_{15}$$

$$Y_{-12} + Y_{-22} + Y_{-32} = Y_{24} + Y_{25} + Y_{26}$$

$$Y_{-13} + Y_{-23} = Y_{35} + Y_{36}$$

$$Y_{-14} = Y_{46}$$

$$449 Y_{-12} + 781 Y_{-22} + 965 Y_{-32} - 449 Y_{-21} - 781 Y_{-31} \geq 0$$

$$449 Y_{13} + 781 Y_{-13} + 965 Y_{-23} - 449 Y_{-12} - 781 Y_{-22} - 965 Y_{-32} \geq 0$$

$$449 Y_{24} + 781 Y_{14} + 965 Y_{-14} - 449 Y_{13} - 781 Y_{-13} - 965 Y_{-23} \geq 0$$

$$449 Y_{35} + 781 Y_{25} + 965 Y_{15} - 449 Y_{24} - 781 Y_{14} - 965 Y_{-14} \geq 0$$

$$449 Y_{46} + 781 Y_{36} + 965 Y_{26} - 449 Y_{35} - 781 Y_{25} - 965 Y_{15} \geq 0$$

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 19
OBJECTIVE FUNCTION VALUE
1) 1424924.

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Y-12	61.605980	0.000000
Y-13	238.394028	0.000000
Y-14	0.000000	335.015808
Y-21	244.724457	0.000000
Y-22	255.275543	0.000000
Y-23	0.000000	327.459869
Y-31	150.000000	0.000000
Y-32	0.000000	535.832397
Y13	90.970047	0.000000
Y14	290.693054	0.000000
Y15	13.061347	0.000000
Y24	0.000000	100.106781
Y25	274.554535	0.000000
Y26	42.326996	0.000000
Y35	0.000000	81.806633
Y36	238.394028	0.000000
Y46	0.000000	0.000000

García (1984) discutió los modelos de tipo I y II, y propuso una tercera categoría (tipo III), utilizando algunos elementos de los tipos I y II, y creando otros nuevos. Este modelo ha sido implementado como FOLPI (forest optimiser linear programming interpreter) por el New Zealand Forest Research Institute, y es utilizado rutinariamente en ordenación. A continuación se presenta un ejemplo de este tipo de estructura.

Ejemplo 7.1.7. Considere un patrimonio formado por tres rodales de similar productividad y que serán intervenidos de manera tal que se maximice la rentabilidad del cultivo sujeto a restricciones de rendimiento no decreciente. Considere la posibilidad de cosechar más de una vez una misma hectárea sobre un horizonte de planificación de 60 años con periodos de 10 años. Formule, resuelva y analice el problema de ordenación considerando la superficie de los rodales, la tabla de rendimientos y parámetros financieros. Utilice una formulación de tipo III.

	Superficie (ha)	Edad (años)
A	300	5
B	500	15
C	150	25

Tasa de descuento : 8% p.a.
 Ingreso neto por m³ : 5 M\$/m³
 Obvie costos de formación.

Edad (años)	Rendimiento (m ³ /ha)
0	0
10	152
20	449
30	781
40	965
50	1074
60	1115

Resolución 7.1.7. El problema de ordenación se formula al explicitar variables de decisión, parámetros, función objetivo y restricciones.

a) Variable de decisión

La variable de decisión corresponde a la superficie de la clase de edad “j” que será cosechada en el periodo “t” (Y_{tj}). Por ejemplo Y_{34} representa la superficie cosechada de la clase de edad 4 (30-40 años) en el periodo 3 (20-30 años a lo largo del horizonte de planificación).

Normalmente se puede reducir considerablemente el número de variables de decisión al establecer una edad mínima (e.g. 20 años) y máxima de cosecha (e.g. 40 años). En este caso se tiene 18 variables de decisión que se esquematiza a continuación:

			Clases de edad					
			j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	j=6
			0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
	Superficie (ha) tiempo 0		300	500	150			
Periodos	t=1	10	R_1		Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	
	t=2	20	R_2		Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}	
	t=3	30	R_3		Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}	
	t=4	40	R_4		Y_{42}	Y_{43}	Y_{44}	
	t=5	50	R_5		Y_{52}	Y_{53}	Y_{54}	
	t=6	60	R_6		Y_{62}	Y_{63}	Y_{64}	
	t=7	70			Y_{72}	Y_{73}	Y_{74}	

* En un modelo de estructura tipo III se debe incorporar un periodo adicional para dar consistencia al modelo (t=7).

** Se incorpora una variable R_t que representa la superficie regenerada en el periodo "t".

b) *Parámetros*

Como parámetros fundamentales se establecen los rendimientos obtenidos al cosechar una hectárea de la clase de edad “j” (V_j) y los ingresos netos descontados producto de cosechar dicha superficie (I_{ij}). La siguiente tabla presenta dichos parámetros.

Periodos		Rendimiento (V_j) (m ³ /ha) por clase de edad			Ingresos Netos Descontados (I_{ij}) (M\$/ha) por clase de edad		
		10 - 20	20 - 30	30 - 40	10 - 20	20 - 30	30 - 40
t=1	10	449	781	965	1528	2658	3284
t=2	20	449	781	965	707	1231	1521
t=3	30	449	781	965	328	570	705
t=4	40	449	781	965	152	264	326
t=5	50	449	781	965	70	122	151
t=6	60	449	781	965	33	57	70

c) Función Objetivo

La función objetivo puede ser representada mediante la sumatoria de las superficies cosechadas (Y_{tj}) por los ingresos netos descontados (I_{tj}). Esto se expresa como:

$$\text{Max } z = 1528 Y_{12} + 2658 Y_{13} + 3284 Y_{14} + 707 Y_{22} + 1231 Y_{23} + 1521 Y_{24} + 328 Y_{32} + 570 Y_{33} \\ + 705 Y_{34} + 152 Y_{42} + 264 Y_{43} + 326 Y_{44} + 70 Y_{52} + 122 Y_{53} + 151 Y_{54} + 33 Y_{62} + 57 Y_{63} + 70 Y_{64}$$

d) Restricciones estructurales

Para un modelo de estructura tipo III existen tres tipos de restricciones que se ejemplifican a continuación. Además el ejemplo permite sintetizar las restricciones d.1 y d.2 en un solo grupo dado que la superficie regenerada es la misma en ambos casos.

d.1) La superficie cosechada en cada periodo debe ser inmediatamente regenerada.

$$Y_{12} + Y_{13} + Y_{14} = R_1$$

$$Y_{22} + Y_{23} + Y_{24} = R_2$$

$$Y_{32} + Y_{33} + Y_{34} = R_3$$

$$Y_{42} + Y_{43} + Y_{44} = R_4$$

$$Y_{52} + Y_{53} + Y_{54} = R_5$$

$$Y_{62} + Y_{63} + Y_{64} = R_6$$

d.2) La superficie regenerada debe ser subsecuentemente cosechada

$$R_1 = Y_{22} + Y_{33} + Y_{44}$$

$$R_2 = Y_{32} + Y_{43} + Y_{54}$$

$$R_3 = Y_{42} + Y_{53} + Y_{64}$$

$$R_4 = Y_{52} + Y_{63} + Y_{74}$$

$$R_5 = Y_{62} + Y_{73}$$

$$R_6 = Y_{72}$$

d.3) La superficie al inicio del horizonte de planificación debe ser subsecuentemente cosechada

$$Y_{12} + Y_{23} + Y_{34} = 300$$

$$Y_{13} + Y_{24} = 500$$

$$Y_{14} = 150$$

e) Restricciones atribuibles a la ordenación

e.1) Restricciones de rendimiento no decreciente.

Se establece que los rendimientos totales por periodo (R_t) no deben decrecer en el tiempo. Esto se puede realizar tomando parejas de periodos sucesivos; y estableciendo que el rendimiento en un periodo no debe ser inferior al anterior:

$$R_2 \geq R_1 \quad \Rightarrow \quad R_2 - R_1 \geq 0$$

$$R_3 \geq R_2 \quad \Rightarrow \quad R_3 - R_2 \geq 0$$

$$R_4 \geq R_3 \quad \Rightarrow \quad R_4 - R_3 \geq 0$$

$$R_5 \geq R_4 \quad \Rightarrow \quad R_5 - R_4 \geq 0$$

$$R_6 \geq R_5 \quad \Rightarrow \quad R_6 - R_5 \geq 0$$

Pero;

$$R_1 = 449 Y_{12} + 781 Y_{13} + 965 Y_{14} \quad (\text{Volumen total cosechado en el periodo 1})$$

$$R_2 = 449 Y_{22} + 781 Y_{23} + 965 Y_{24} \quad (\text{Volumen total cosechado en el periodo 2})$$

$$R_3 = 449 Y_{32} + 781 Y_{33} + 965 Y_{34} \quad (\text{Volumen total cosechado en el periodo 3})$$

$$R_4 = 449 Y_{42} + 781 Y_{43} + 965 Y_{44} \quad (\text{Volumen total cosechado en el periodo 4})$$

$$R_5 = 449 Y_{52} + 781 Y_{53} + 965 Y_{54} \quad (\text{Volumen total cosechado en el periodo 5})$$

$$R_6 = 449 Y_{62} + 781 Y_{63} + 965 Y_{64} \quad (\text{Volumen total cosechado en el periodo 6})$$

Entonces;

$$R_2 - R_1 = 449 Y_{22} + 781 Y_{23} + 965 Y_{24} - 449 Y_{12} - 781 Y_{13} - 965 Y_{14} \geq 0$$

$$R_3 - R_2 = 449 Y_{32} + 781 Y_{33} + 965 Y_{34} - 449 Y_{22} - 781 Y_{23} - 965 Y_{24} \geq 0$$

$$R_4 - R_3 = 449 Y_{42} + 781 Y_{43} + 965 Y_{44} - 449 Y_{32} - 781 Y_{33} - 965 Y_{34} \geq 0$$

$$R_5 - R_4 = 449 Y_{52} + 781 Y_{53} + 965 Y_{54} - 449 Y_{42} - 781 Y_{43} - 965 Y_{44} \geq 0$$

$$R_6 - R_5 = 449 Y_{62} + 781 Y_{63} + 965 Y_{64} - 449 Y_{52} - 781 Y_{53} - 965 Y_{54} \geq 0$$

De esta forma, la formulación del problema de ordenación es la siguiente:

$$\text{Max } z = 1528 Y_{12} + 2658 Y_{13} + 3284 Y_{14} + 707 Y_{22} + 1231 Y_{23} + 1521 Y_{24} + 328 Y_{32} + 570 Y_{33} + \\ 705 Y_{34} + 152 Y_{42} + 264 Y_{43} + 326 Y_{44} + 70 Y_{52} + 122 Y_{53} + 151 Y_{54} + 33 Y_{62} + 57 Y_{63} + 70 Y_{64}$$

s.a.

$$Y_{12} + Y_{13} + Y_{14} - Y_{22} - Y_{33} - Y_{44} = 0$$

$$Y_{22} + Y_{23} + Y_{24} - Y_{32} - Y_{43} - Y_{54} = 0$$

$$Y_{32} + Y_{33} + Y_{34} - Y_{42} - Y_{53} - Y_{64} = 0$$

$$Y_{42} + Y_{43} + Y_{44} - Y_{52} - Y_{63} - Y_{74} = 0$$

$$Y_{52} + Y_{53} + Y_{54} - Y_{62} - Y_{73} = 0$$

$$Y_{62} + Y_{63} + Y_{64} - Y_{72} = 0$$

$$Y_{12} + Y_{23} + Y_{34} = 300$$

$$Y_{13} + Y_{24} = 500$$

$$Y_{14} = 150$$

$$449 Y_{22} + 781 Y_{23} + 965 Y_{24} - 449 Y_{12} - 781 Y_{13} - 965 Y_{14} \geq 0$$

$$449 Y_{32} + 781 Y_{33} + 965 Y_{34} - 449 Y_{22} - 781 Y_{23} - 965 Y_{24} \geq 0$$

$$449 Y_{42} + 781 Y_{43} + 965 Y_{44} - 449 Y_{32} - 781 Y_{33} - 965 Y_{34} \geq 0$$

$$449 Y_{52} + 781 Y_{53} + 965 Y_{54} - 449 Y_{42} - 781 Y_{43} - 965 Y_{44} \geq 0$$

$$449 Y_{62} + 781 Y_{63} + 965 Y_{64} - 449 Y_{52} - 781 Y_{53} - 965 Y_{54} \geq 0$$

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 2778380.

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
Y12	0.000000	21.215992
Y13	381.407104	0.000000
Y14	150.000000	0.000000
Y22	209.101990	0.000000
Y23	300.000000	0.000000
Y24	118.592903	0.000000
Y32	425.186310	0.000000
Y33	322.305115	0.000000
Y34	0.000000	49.173767
Y42	633.562927	0.000000
Y43	202.508575	0.000000
Y44	0.000000	65.704880
Y52	787.640930	0.000000
Y53	113.928513	0.000000
Y54	0.000000	89.004494
Y62	901.569458	0.000000
Y63	48.430557	0.000000
Y64	0.000000	121.626564
Y74	0.000000	1538.527344
Y73	0.000000	884.735901
Y72	950.000000	0.000000

Modelos I, II, III

- No se puede decir cuál es mejor
- depende situación bajo análisis y de objetivos
- pueden ser adaptados a las necesidades particulares
- utilizados en la planificación estratégica
- Para más detalle, se usa otros modelos que considerando estrategia global permitan detallar cómo, cuándo y dónde intervenir sobre un horizonte de tiempo menor (e.g. 5 años)
- Generalmente estos modelos (I, II y III) no trabajarán con rodales individuales sino que con una agregación de rodales similares en cuanto a las características físicas, vegetacionales y de desarrollo.
- En Nueva Zelanda se utiliza el concepto de croptype para señalar una agregación de rodales similares que poseen un objetivo común pero que no necesariamente tienen la misma edad.

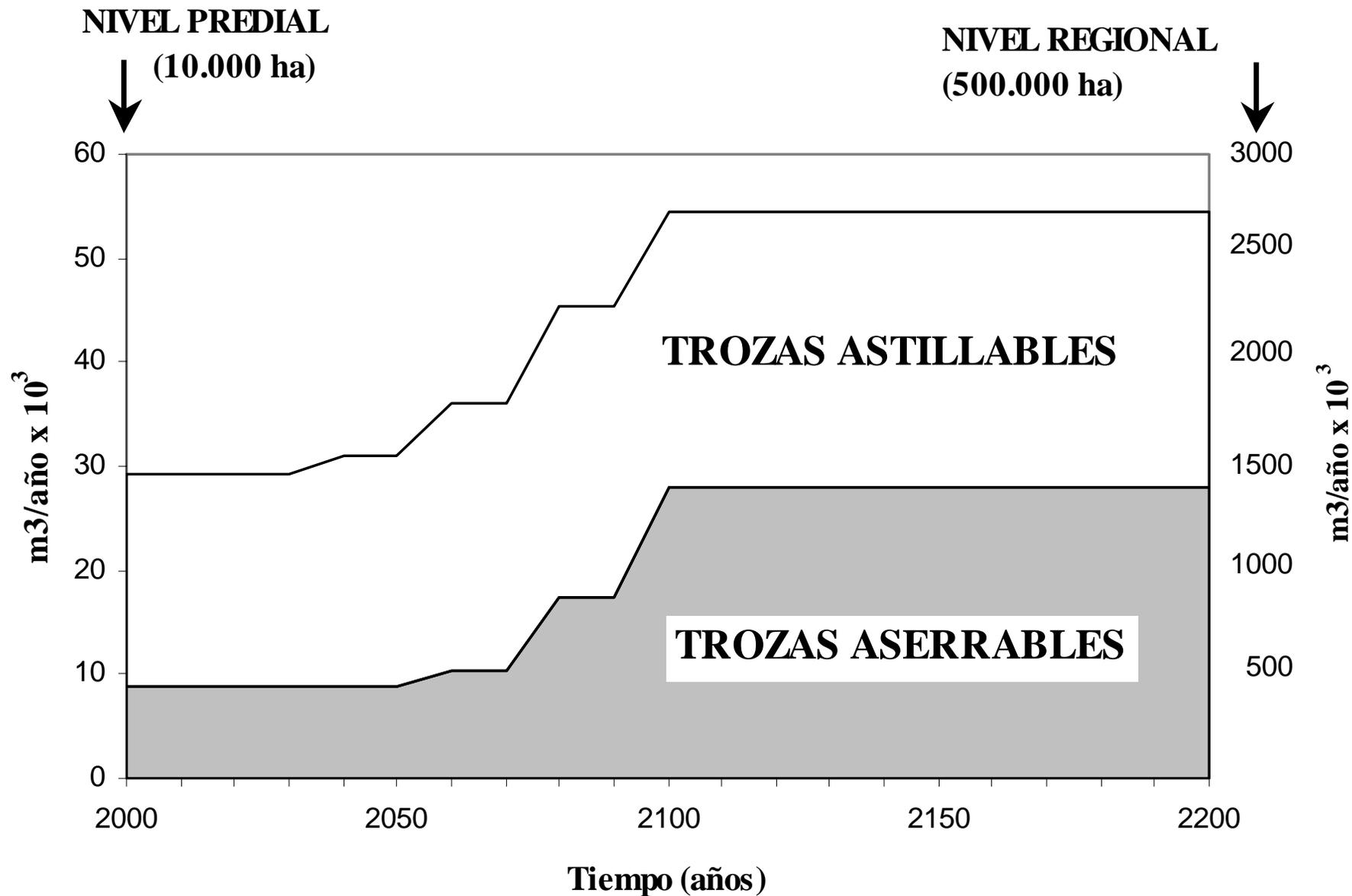


Figura 7.1.1: Posibilidad de corta a nivel predial (10.000 ha) y nivel regional (500.000 ha) en bosques de Lenga en Magallanes.