

# Manejo Forestal

## Unidad 3: El problema de la conversión hacia el bosque ordenado

- **Contenidos:** Regulación por área y por volumen. Determinación de las áreas y volúmenes de cosecha. Las reglas de corta. Las fórmulas de posibilidad. Los métodos combinados. Métodos relacionados con el sistema silvícola de aclareos sucesivos (tramos periódicos -único y móvil-).

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Universidad Nacional de La Plata

La Plata – Septiembre del 2020 – Pablo Yapura

# Una reflexión para empezar

«Los procedimientos tradicionales de la ordenación forestal estuvieron fundados en la existencia de alguna estructura de “bosque meta”. El logro y el mantenimiento subsecuente de esta estructura se asumían como importantes objetivos del manejo. Nosotros no creemos que un bosque balanceado estáticamente constituya un objetivo muy razonable para el manejo forestal actual y, en cambio, sostenemos que el verdadero rol del administrador es el manejo inteligente de estructuras *desbalanceadas* del bosque.»

**Clutter *et al.* 1983. Timber management:  
a quantitative approach.**



# El problema de la conversión

- Dada una unidad de manejo forestal (bosque) en su condición actual, que no está ordenada y que se considera como inicial, y
- Una descripción de esa misma unidad de manejo forestal como un bosque ordenado que se desea alcanzar,
- Al problema de determinar la política de cosecha para conducirlo del estado inicial al ideal se la conoce como **problema de la conversión**.
- El énfasis en el estado terminal tiende a ignorar algún aspecto importante de lo que ocurre en el **período de conversión**, también llamado período de transición (*i.e.* el tiempo total que toma este proceso).

# El problema de la conversión

- El manejo forestal clásico ha desarrollado decenas (literalmente) de métodos para **ordenar los bosques**.
- Sin embargo, cuando se los considera desde el punto de vista conceptual, todos estas **estrategias** podrían ser descriptas como pertenecientes a alguna de dos categorías (Davis & Johnson, 1987):
  - **Regulación por área:** el bosque se ordena en el término de una rotación, aunque la mayoría de las veces los niveles de cosecha durante la conversión no son constantes.
  - **Regulación por volumen:** la constancia en el nivel de las cosechas se puede alcanzar de inmediato, aunque por lo general el bosque no se ordena en una rotación.

# Regulación por área

- El principio de la regulación por área es extremadamente simple: cada año se cosecha y regenera la misma superficie que se cosecharía y regeneraría en el bosque ordenado.
- En otras palabras, la política de cosecha consiste en cortar y regenerar una **superficie constante**.
- Es la forma **más rápida** y sencilla de llevar cualquier bosque al estado adoptado como ideal.
- Sin embargo, el volumen que se cosecha cada año depende de los rodales que se asignen a la cosecha cada año.
- En consecuencia, partiendo de una estructura de edades no equilibradas o no ordenadas, el flujo de productos resultantes difícilmente sea constante en volumen.

# Regulación por área

- Una vez definidas las superficies de corta anual, el problema restante es distribuir las superficies en el bosque inicial, tanto en el tiempo como en el espacio.
- Este problema, que no es inherente a la regulación por área, se resuelve generalmente adoptando criterios o **reglas de corta** que permitan determinar la prioridad de los rodales existentes para ser cosechados.
- Uno de los criterios más ampliamente empleados consiste en **cortar primero los rodales más viejos**.
- Otros criterios: calidad de sitio, necesidad, necesidad de regeneración, accesibilidad. También es posible combinar todos los criterios relevantes para cada problema concreto.

# Regulación por área

- Los cálculos de cosecha son conceptualmente fáciles aunque pueden resultar tediosos: una vez clasificados por su prioridad de corta, la superficie de corta anual se extrae del **primer rodal de la lista**. Si ese rodal no tiene la superficie necesaria, la misma se completa con el o los siguientes rodales de la lista de prioridades de corta.
- Las edades de cosechas varían año a año y algunos años la cosecha proviene de rodales de edades diferentes.
- Una vez asignados los rodales específicos se debe calcular el volumen de cosecha que, como se dijo, puede variar año a año.
- Luego se simula la regeneración y el crecimiento de todos los rodales no cosechados.
- El proceso se repite hasta ordenar el bosque (una rotación).

# Regulación por volumen

- En la regulación por volumen, la decisión principal consiste en determinar el volumen anual de corta que ordenará el bosque.
- La política de cosecha consiste en cortar y regenerar un **volumen constante**.
- Se puede cumplir con el rendimiento sostenido **de manera inmediata**, aunque no necesariamente en el máximo nivel.
- Las superficies de corta dependen de los rodales que se eligen para la cosecha y resultan ser las necesarias para satisfacer el volumen adoptado.
- En consecuencia, es prácticamente imposible que el bosque se ordene en la primera rotación.

# Regulación por volumen

- La determinación del volumen anual de cosecha o **posibilidad** esta influida por el monto y la distribución de las existencias en el bosque inicial y por sus incrementos.
- La respuesta del manejo forestal tradicional fueron las conocidas **fórmulas de posibilidad** que, con muy poca información disponible, permitían calcular el monto de ese volumen anual de cosecha.
- Una vez definida esa posibilidad, todavía se deben asignar los rodales del bosque inicial cuya cosecha la irán conformando, tanto en el tiempo como en el espacio.
- Como en la regulación por área, se adoptan las mismas reglas para priorizar la cosecha de los rodales existentes (edad, calidad de sitio, accesibilidad, regeneración, combinaciones, etc.).

# Regulación por volumen

- Los cálculos de cosecha son apenas más trabajosos e igualmente tediosos que en la regulación por área: una vez que se clasificó los rodales por su prioridad de corta, el volumen de corta anual se extrae del **primero de la lista**. Si ese rodal no tiene las existencias necesarias, el volumen **se completa** con el o los siguientes rodales de la lista de prioridades de corta.
- Las edades de cosechas varían año a año y algunos años la cosecha proviene de rodales de edades diferentes.
- Una vez asignados los rodales específicos se deben calcular las superficies de cosecha que, como se dijo, puede variar año a año.
- Luego se simula la regeneración y el crecimiento de todos los rodales no cosechados.
- El proceso se repite hasta **ordenar o agotar** el bosque.

# Regulación por volumen

- «Un problema de considerable significación práctica implica la determinación del nivel máximo de cosechas continuas y constantes que puede imponérsele a un bosque dado y ser sostenidas a perpetuidad. A este nivel se lo denominará **cosecha sustentable máxima** o **rendimiento sostenido máximo**.» (Clutter *et al.*, 1983).

$$P^* = S \times \text{ima}^*_T$$

- La **respuesta específica** se busca por simulación; en el modelo de la planilla de cálculo se lo *controla* con un factor multiplicativo al que se describió como *Fracción del máximo rendimiento sostenido*:

$$P^* = S \times \text{ima}^*_T \times f$$

# Regulación por volumen

- «(...) no será posible determinar el tipo ni la cantidad de madera que se puede tomar cada año del bosque, si el mismo ha de permanecer en la mejor condición para siempre y proveer la misma, y posiblemente máxima, cantidad de madera para las generaciones actuales y futuras.» (Hartig, 1803).
- La respuesta fueron las *fórmulas de posibilidad*, como la *fórmula austríaca* que fue decretada (ca. 1788) por la *Hofkammer* de Viena, la *cámara* o agencia real para asuntos fiscales del imperio austríaco:

$$P = I + \left( \frac{E_a - E_n}{p} \right)$$

- $I$  es incremento,  $E$  es existencias,  $a$  es actual o real,  $n$  es normal o deseado y  $p$  es período de aplicación.

# Cambios en la cosecha de un Bosque Ordenado

- Supóngase un BO de 1.000 ha con 5 clases de edad de *P. taeda* en el N de Misiones que crecen de acuerdo con la silvicultura simplificada que ya se describió y predice PlaForNEA.
- La cosecha de equilibrio será:

$$P = S \times \text{ima}_{25} \times 5 = 1.000 \times 19,5 \times 5 = 97.400 \text{ m}^3$$

- En la simulación, la cosecha se controla mediante la *Fracción del máximo rendimiento sostenido*, que para este caso sería:

$$f = \frac{P}{P^*} = \frac{S \times \text{ima}_{25} \times 5}{S \times \text{ima}_{15} \times 5} = \frac{\text{ima}_{25}}{\text{ima}_{15}} = \frac{19,5}{22,1} = 0,88278$$

- ¿Cuales son las consecuencias a largo plazo de aumentar el nivel de cosechas? ¿Y las de disminuir?

# Cambios en la cosecha de un Bosque Ordenado

- Supóngase un BO de 1.000 ha con 2 clases de edad de *P. taeda* en el N de Misiones que crecen de acuerdo con la silvicultura simplificada que ya se describió y predice PlaForNEA.
- La cosecha de equilibrio será:

$$P = S \times \text{ima}_{10} \times 5 = 1.000 \times 20,4 \times 5 = 102.000 \text{ m}^3$$

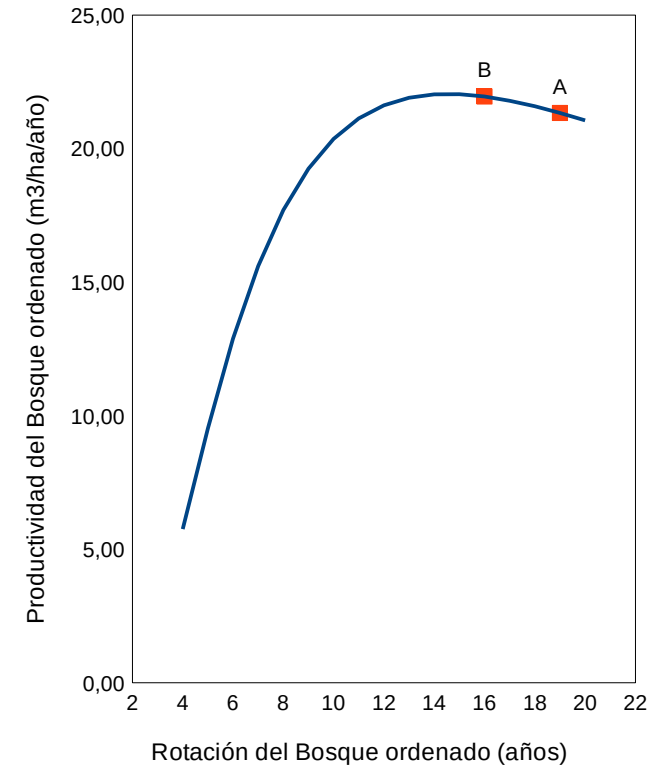
- En la simulación, la cosecha se controla mediante la *Fracción del máximo rendimiento sostenido*, que para este caso sería:

$$f = \frac{P}{P^*} = \frac{S \times \text{ima}_{10} \times 5}{S \times \text{ima}_{15} \times 5} = \frac{\text{ima}_{10}}{\text{ima}_{15}} = \frac{20,4}{22,1} = 0,92447$$

- ¿Cuales son las consecuencias a largo plazo de aumentar el nivel de cosechas? ¿Y las de disminuir?

# Cambios en la cosecha de un Bosque Ordenado

- Si la cosecha de un bosque ordenado se modifica a un nuevo nivel sostenido, alguna de las tres posibilidades siguientes ocurrirá:
  1. La estructura del bosque se re-estabiliza con una nueva edad promedio de la rotación.
  2. El bosque resulta agotado.
  3. El bosque deja de estar manejado.



## Más sobre el nivel de cosechas

- Dado un bosque cuya distribución de áreas por (clases de) edades es conocida y cuyos rendimientos vienen predichos por una función conocida;
- Asumiendo que toda superficie cosechada es regenerada de manera inmediata;
- Si una cosecha anual, constante y significativa, se impone a un bosque de rodales coetáneos (con los rodales de mayor edad cosechados primero), una de las dos posibilidades siguientes ocurrirá (Allison, 1978):
  1. El bosque resultará completamente agotado.
  2. Un bosque ordenado se desarrollará, eventualmente.



# Más sobre el nivel de cosechas

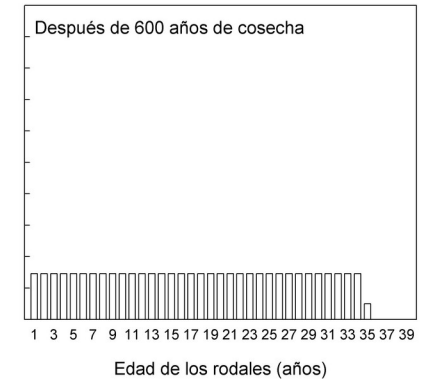
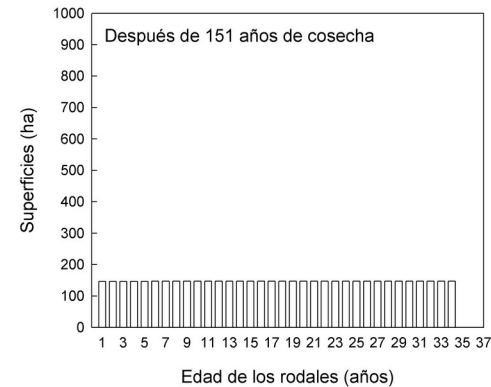
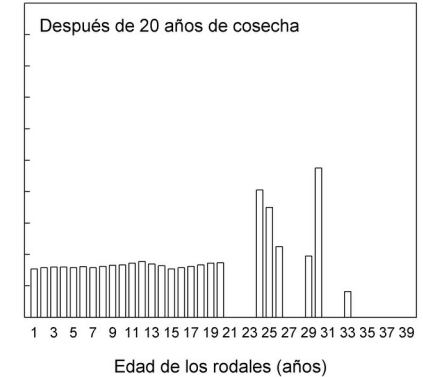
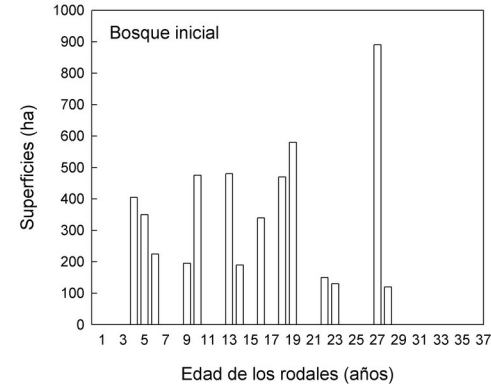
- En el largo plazo lo relevante es la productividad:

$$P \leq P^* = S \times \text{ima}_T^*$$

- La estructura terminal se puede predecir:

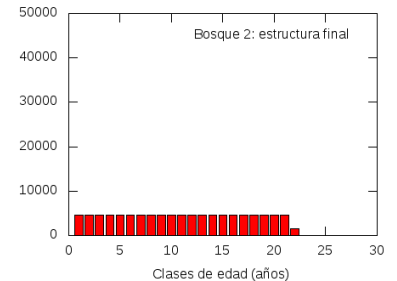
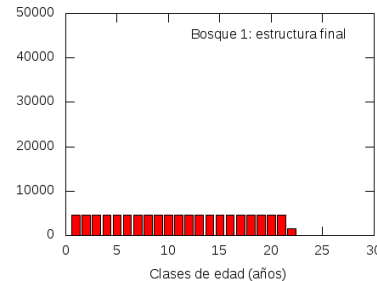
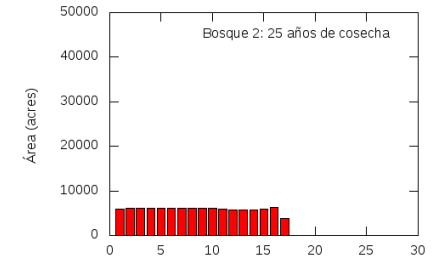
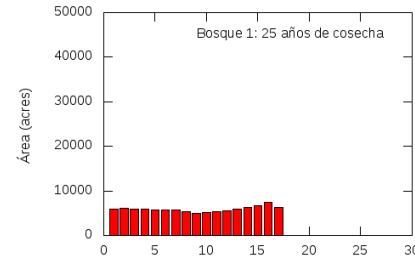
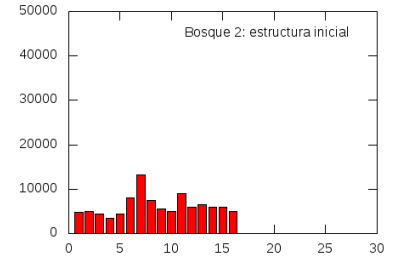
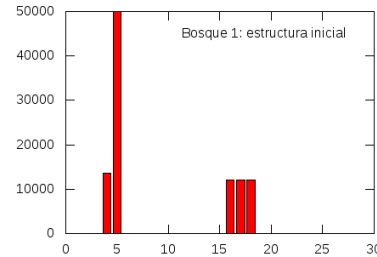
$$T : \text{ima}_T = P/S$$

- En el corto y mediano plazo lo relevante son las existencias actuales (magnitud y distribución por edades).



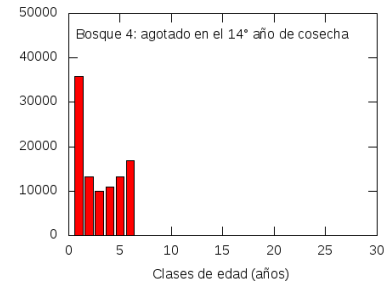
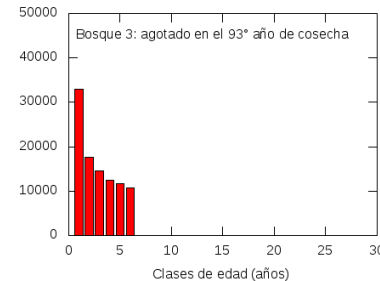
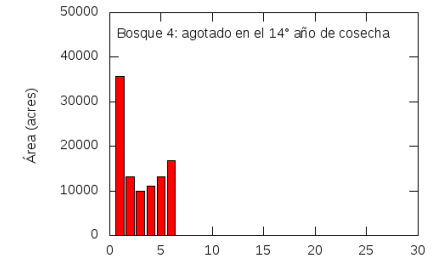
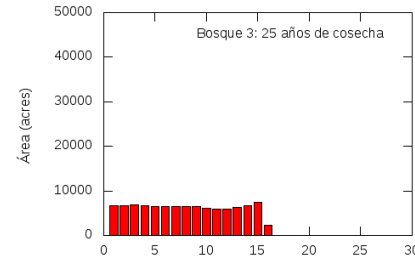
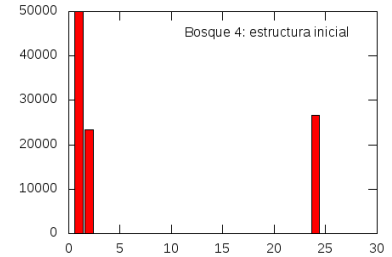
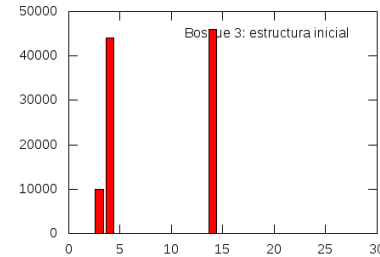
# Consecuencias a corto, mediano y largo plazo

- Sólo la **simulación** permite contestar todas las respuestas: estado terminal y plazos.
- Condición de los bosques iniciales: **superavitarios versus deficitarios**.
- Los cuatro bosques tienen la misma Superficie Total, las mismas Existencias Totales, y se los somete al mismo Nivel de Cosecha de manera continua.



# Consecuencias a corto, mediano y largo plazo

- Sólo la **simulación** permite contestar todas las respuestas: estado terminal y plazos.
- Condición de los bosques iniciales: **superavitarios versus deficitarios**.
- Los cuatro bosques tienen la misma Superficie Total, las mismas Existencias Totales, y se los somete al mismo Nivel de Cosecha de manera continua.



# Efecto Posibilidad

- En un bosque manejado se lo puede definir como el incremento inmediato (o temprano) en el nivel de cosechas causado por asumir mejores productividades (o más tierras) en el futuro.

Posibilidad (m <sup>3</sup> )	Superficie anexada (ha)					
	0	100	200	300	400	500
99.300	S	S	S	S	S	S
102.058	A-5	A-10	S	S	S	S
104.817	A-5	A-5	A-5	A-10	S	S
107.575	A-0	A-0	A-5	A-5	A-5	A-15
110.333	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0	A-0

# Optimizar la conversión... en un destello

- Matemáticamente, el **modelo de simulación** que se usó para estudiar la conversión puede convertirse fácilmente en un **modelo de optimización**. Una formulación posible es:

$$\max z = \sum_{i=1}^7 \sum_{t=0}^{20} c_{i,t} x_{i,t} \quad [1]$$

Sujeto a:

$$s_{1,t} = \sum_{i=1}^7 x_{i,t-1} \quad (t = 1, 2, \dots, 20) \quad [2]$$

$$s_{i,t} = s_{i-1,t-1} - x_{i-1,t-1} \quad (i = 2, 3, \dots, 6; t = 1, 2, \dots, 20) \quad [3]$$

$$s_{7,t} = s_{6,t-1} - x_{6,t-1} + s_{7,t-1} - x_{7,t-1} \quad (t = 1, 2, \dots, 20) \quad [4]$$

$$\sum_{i=1}^7 v_{i,t} x_{i,t} = \sum_{i=1}^7 v_{i,t-1} x_{i,t-1} \quad (t = 1, 2, \dots, 20) \quad [5]$$

$$x_{i,19} = x_{i,20} \quad (i = 1, 2, \dots, 7) \quad [6]$$

$$s_{i,t}; x_{i,t} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, 7; t = 0, 1, \dots, 20) \quad [7]$$

# Optimizar la conversión... en un destello

- donde  $c_{i,t}$  es el valor actual por unidad de área del ingreso neto de la cosecha de la clase de edad  $i$  en el período  $t$ ;
- $x_{i,t}$  es la superficie de cosecha de la clase de edad  $i$  en el período  $t$ ;
- $s_{i,t}$  es la superficie en pie de la clase de edad  $i$  en el período  $t$ ;
- $v_{i,t}$  es el volumen por unidad de área de la clase de edad  $i$  en el período  $t$ ;
- entonces  $z$  puede ser considerado como el valor del bosque manejado, incluyendo suelo y vuelo inicial.
- En el *solver* las ecuaciones [2], [3] y [4] se pueden reemplazar con:

$$x_{i,t} \leq s_{i,t} \quad (i = 1, 2, \dots, 7; t = 0, 1, \dots, 20) \quad [8]$$

# Optimizar la conversión... en un destello

Optimización de las cosechas (las celdas en negrita son datos y el resto son cálculos)

Año	1	2	3	4	5	6	7	Indicadores
0	125	100	200	55	200	150	170	0 -6 -6 524.8
5	0	125	100	200	55	200	320	0 -6 -5 618.0
10	0	0	125	100	200	55	520	0 -6 -4 682.9
15	0	0	0	125	100	200	575	0 -6 -3 723.1
20	0	0	0	0	125	100	775	0 -6 -2 751.0
25	0	0	0	0	0	125	875	0 -6 -2 764.5
30	0	0	0	0	0	0	1000	0 -6 -1 770.9
35	0	0	0	0	0	0	1000	0 -6 -1 770.9
40	0	0	0	0	0	0	1000	0 -6 -1 770.9
45	0	0	0	0	0	0	1000	0 -6 -1 770.9
50	0	0	0	0	0	0	1000	0 -6 -1 770.9
55	0	0	0	0	0	0	1000	0 -6 0 770.9
60	0	0	0	0	0	0	1000	0 -6 0 770.9
65	0	0	0	0	0	0	1000	0 -6 0 770.9
70	0	0	0	0	0	0	1000	0 -6 0 770.9
75	0	0	0	0	0	0	1000	0 -6 0 770.9
80	0	0	0	0	0	0	1000	0 -6 0 770.9
85	0	0	0	0	0	0	1000	0 -6 0 770.9
90	0	0	0	0	0	0	1000	0 -6 0 770.9
95	0	0	0	0	0	0	1000	0 -6 0 770.9
100	0	0	0	0	0	0	1000	0 -6 0 770.9
Rendimier	48	204	331	421	487	537	575	VA bosque manejado (miles de \$) -28
Costo regeneración (\$/ha)	600			Gasto anual aN (\$/ha)			6	Carbono secuestrado (miles de toneladas) 171
IMA (m³/h)	9.6	20.4	22.1	21.1	19.5	17.9	16.4	
Ingreso br	384	1632	2648	3368	3896	4296	4600	
Ingreso ns	-216	1032	2048	2768	3296	3696	4000	
VPS (\$/ha)	-1502	921	1178	954	661	393	166	

Ec. [1]  $x_{i,t}$  Ec. [2] Ec. [3] Ec. [4] Ec. [5] Ec. [6]



# Reconociendo varias calidades de sitio

- El supuesto de equiproductividad de las tierras implicaba una **única función** (o tabla) de rendimiento para todo el bosque.
- Ahora habrá tantas funciones como **clases de sitio** se reconozcan:

- Las funciones son proporcionales (*monomórficas*)
- Las funciones no son proporcionales (*polimórficas*)

- El *rendimiento sostenido máximo* se calcula consolidando:

$$P^* = S_I \times \text{ima}^*_{I,T} + S_{II} \times \text{ima}^*_{II,T} + S_{III} \times \text{ima}^*_{III,T} \quad (\text{Mono})$$

$$P^* = S_I \times \text{ima}^*_{I,T_I} + S_{II} \times \text{ima}^*_{II,T_{II}} + S_{III} \times \text{ima}^*_{III,T_{III}} \quad (\text{Poli})$$

- Donde los subíndices I, II y III denotan clases de calidades de sitio.

# Regulación por área con varias calidades de sitio

- Perfectamente posible, con dos modalidades diferentes. En la modalidad simple, cada fracción del bosque con tierras de la misma calidad de sitio se considera por separado de las demás. El plan de manejo resulta de consolidar decisiones por clases de calidad de sitio.
- Esta modalidad se puede aplicar aún con funciones polimórficas y se pueden considerar rotaciones diferentes para cada clase de sitio.
- Una modalidad que típicamente es mejor durante la conversión requiere cálculos apenas más complicados y adoptar una única rotación para el bosque ordenado.
- Esta modalidad también se puede aplicar aún con funciones polimórficas.

# Regulación por área con varias calidades de sitio

- Se adopta una clase de **calidad de sitio de referencia** (en este ejemplo la calidad II) y las áreas de todas las demás clases se expresan como un equivalente en producción a la de referencia. Para ello se definen y usan indistintamente según convenga:
  - Producción o rendimiento relativo (al sitio de referencia):

$$\rho_I = v_{I,T} / v_{II,T}; \quad \rho_{II} = v_{II,T} / v_{II,T}; \quad \rho_{III} = v_{III,T} / v_{II,T}$$

- Superficie de igual producción (o equivalente en producción a una hectárea del sitio de referencia):

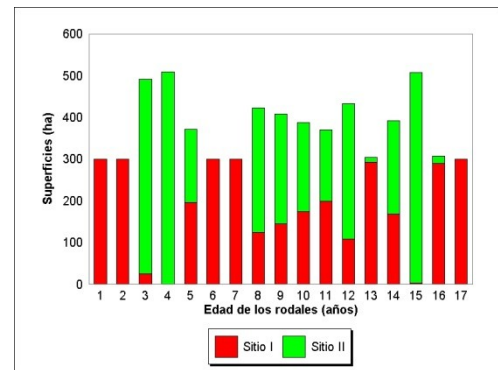
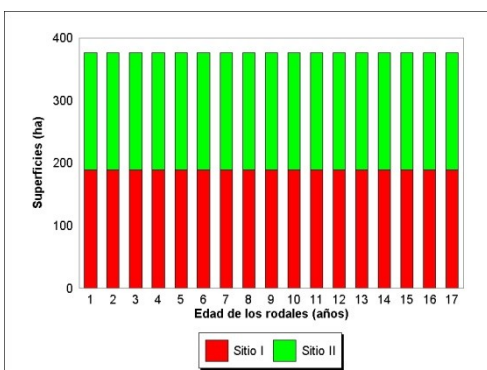
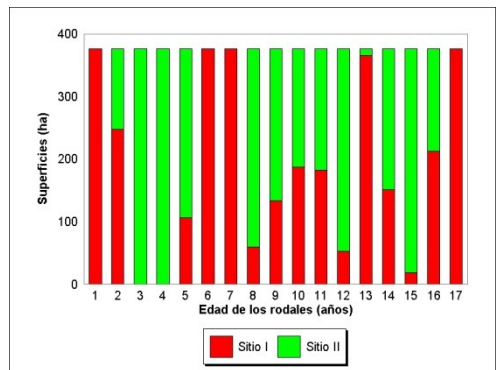
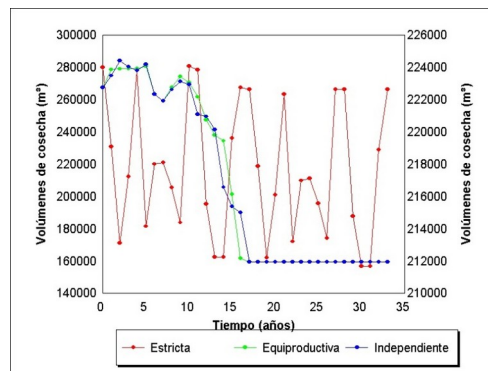
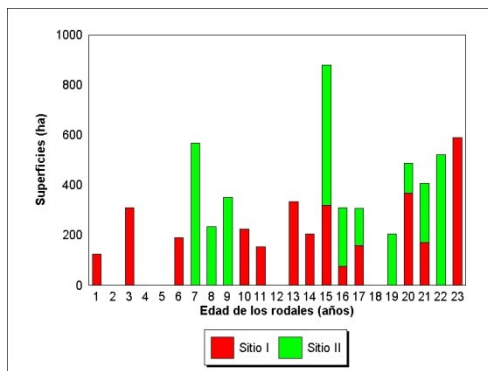
$$\alpha_I = 1 / \rho_I = v_{II,T} / v_{I,T}$$

$$\alpha_{II} = 1 / \rho_{II} = v_{II,T} / v_{II,T}$$

$$\alpha_{III} = 1 / \rho_{III} = v_{II,T} / v_{III,T}$$



# Ejemplo: dos clases de sitio tres soluciones



# Regulación por volumen con varias calidades de sitio

- Perfectamente posible, con dos modalidades diferentes. En la modalidad simple, cada fracción del bosque con tierras de la misma calidad de sitio se considera por separado de las demás. El plan de manejo resulta de consolidar decisiones por clases de calidad de sitio.
- Esta modalidad se puede aplicar aún con funciones polimórficas y se pueden considerar niveles de cosecha diferentes para cada clase de sitio.



# Regulación por volumen con varias calidades de sitio

- La segunda modalidad sólo se puede aplicar con funciones monomórficas y simplifica notablemente los cálculos y las simulaciones.
- En esencia, en cada clase de calidad de sitio se expresan todas las superficies por clases de edad por su equivalente en producción a una de las clases adoptada como la de referencia.
- Se consolidan todas estas áreas por edades de todas las clases de sitios así calculadas para conformar un bosque de una única clase de sitio, la de referencia, que es *virtualmente* equiproductivo y equivalente al real.
- Para aplicar los resultados de la planificación se deben *deshacer* las equivalencias para pasar áreas de la clase de referencia a la clase concreta y real que se trate.

# Métodos combinados de conversión

- Buscaban obtener lo mejor de los dos enfoques, sin apegarse estrictamente a ninguno de los dos.
- Típicamente se concebía como un proceso iterativo que simulaba un nivel de cosecha cualquiera (e.g. uno calculado con una fórmula de Posibilidad) y al término de un tiempo igual a una rotación adoptada verificaba si se habían cosechado todos los rodales. En caso negativo se aumentaba el nivel de cosecha buscando que, en esa rotación adoptada, se cosechara todo el bosque una vez. Contrariamente, si todos los rodales se habían cosechados antes de esa rotación, se disminuía el nivel de cosecha buscando esa coincidencia.
- Por lo común, este procedimiento no ordena el bosque.

## Otros sistemas silvícolas

- Para el sistema silvícola de árboles padres, la consideración adicional importante es el **retraso en la regeneración**, situación que también puede presentarse en el sistema de talas rasas con plantación si se deja descansar la tierra un cierto tiempo después de la cosecha. El retraso empeora la productividad dada por la función de rendimiento y tiene sentido distinguir rotación de turno.
- Para el sistema silvícola de aclareos sucesivos la consideración adicional importante es que la cosecha y regeneración ya no es *instantánea*, sino que toma un período. Y en ese período coexisten rodales de dos generaciones sucesivas en la misma tierra y eso debe incorporarse en la planificación. En el pasado, además, fue clásico considerar que el modelo era periódico (no anual) y se lo conoció como el Método de los Tramos Permanentes.

## Otros sistemas silvícolas

- Para el sistema silvícola de selección, tanto en su versión pie a pie como en bosquetes, la consideración adicional importante es que los rodales *no tienen edad*.
- El papel organizador que juega la edad en los bosques manejados con rodales coetáneos podría ser reemplazado por un concepto funcionalmente equivalente: **tiempo transcurrido desde la última cosecha**.
- No es costumbre hablar de turno sino de *rotación* o *ciclo de cortas*.
- Es clásico en castellano hablar de Tramos de Entresaca.

# Bibliografía

- Clutter JL, Fortson JC, Pienaar LV, Brister GH & RL Bailey. 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley & Sons, New York. 333 pp.
- Davis LS, KN Johnson, PS Bettinger & TE Howard. 2001. Forest management – To sustain ecological, economic, and social values. 4<sup>th</sup> Edition. McGraw-Hill Book Company. New York. 804 pp.

