

PRODUCTIVIDAD

1.- El concepto de productividad

Uno de los más importantes problemas a resolver en la dasometría es la predicción del estado futuro de un rodal, por distintos motivos (económico, ambiental, académico, etc.) Los problemas típicos de la planificación económica forestal tales como la determinación de la disponibilidad futura de madera, la selección de su silvicultura o su tasación, dependerán de la calidad de su predicción (Morales et al., 1979). La productividad es en sí la producción, o volumen en pie, dividido por el período de tiempo que transcurre en su formación. Este puede referirse al volumen en pie a la edad de cosecha, en el caso de bosques coetáneos, o al volumen acumulado en un período de tiempo entre intervenciones sucesivas en el caso de bosques multietáneos. En los textos tradicionales este concepto es tratado bajo el nombre de crecimiento y tablas de rendimiento.

La productividad, como ya se ha insinuado en otros capítulos está directamente controlada por el sitio, la densidad, la edad y los tratamientos silvícolas que se hayan realizado en el bosque en el pasado y se pretenda realizar a futuro.

2.- Los modelos usuales para determinar la productividad

Las metodologías de proyección de rodal que se presentan en la literatura especializada dependen del tipo de composición, estructura, densidad e intervenciones que sobre los rodales se realicen. En general se tiene bastante conocimiento sobre la proyección de los rodales coetáneos comerciales, ya que existen fuertes intereses comerciales tras su desarrollo y naturalmente están permanentemente bajo estudio (Lavery P, 1986; Lewis, N.B. and Ferguson, I.S.1993), contrariamente a lo que sucede con los rodales multietáneos no comerciales, que concentran mucho menos información y estudios sobre su dinámica y crecimiento.

En general, se distinguen al menos los siguientes enfoques en la modelación del crecimiento: (Morales et al., 1979):

- De acuerdo al nivel de agregación del rodal. Dependiendo del nivel de detalle con que se quiera determinar el estado final, existen modelos i) agregados al nivel de rodal donde se emplean variables de estado totales (DAP promedio, altura dominante, número de árboles por unidad de superficie, etc.) ii) desagregados por clases de tamaño y iii) de árboles individuales.
- Considerando el tipo de práctica silvicultural, puede tratarse de rodales sin intervención o con intervención. Entre ellas es habitual considerar podas, raleos, fertilización y mejoramiento genético.

Los modelos de proyección de rodal corresponden típicamente a modelos de simulación, ya que lo que se intenta es predecir el estado futuro del rodal como función de su estado inicial y algún nivel de control que sobre el se quiera ejercer (Morales et al., 1979).

3.- La fuente de alimentación de los modelos

Una de las más serias limitaciones a la predicción de la productividad es la información disponible para la construcción de estos modelos. En general - y cualquiera sea el modelo de predicción aplicado - se deberá contar al menos con un método que garantice niveles de confiabilidad estadísticamente medibles para los

resultados, lo cual implica que los parámetros de estimación aplicados a los modelos de predicción sean robustos.

En general, la información que se maneja debe considerar relación que existe entre la calidad de la información y su costo de obtención. En las prácticas forestales suele ocurrir que no exista información preliminar ni de la población, ni de sus componentes, ni de su distribución espacial ni mucho menos de lo que se intenta controlar (nivel de corta, cosecha, raleos, etc.) Profesionalmente este problema debe ser resuelto de manera adecuada y para ello, puede realizarse fijando el costo mínimo requerido para realizar una inferencia estadísticamente confiable o bien optimizando la asignación de los recursos económicos - que habitualmente son escasos - y determinando los niveles de confiabilidad final de los resultados.

4.- En qué variables se debe fijar la atención para seleccionar la metodología de proyección

- Composición
- Estructura y edad
- Intervenciones futuras
- Período de proyección
- Información histórica disponible

El desarrollo futuro de los componentes del rodal, ya sea tratados como árboles individuales o como agregados a nivel de rodal dependen fundamentalmente de estos factores. Así por ejemplo, un rodal coetáneos puro, en un estado de desarrollo juvenil que se pretende intervenir en un corto período de tiempo, tendrá una metodología completamente diferente de proyección que un rodal multietáneo mixto que no se intervendrá a futuro.

5.- Los componentes del rodal

Los componentes básicos que deben ser modelados en el tiempo para conseguir estimar el estado final del rodal son los siguientes:

- Estado actual del rodal. Es necesario conocer el estado del rodal al comienzo del período de proyección, esto es su tabla de rodal y existencia inicial
- Mortalidad natural. Es necesario estimar la mortalidad natural que existirá en el período, producto de la competencia interna por los factores de crecimiento al interior del rodal.
- Cortas intermedias. También es necesario determinar el nivel de corta o cosecha que ocurrirá en el período de proyección ya que afectará la tasa de crecimiento del rodal residual.
- Ingreso al rodal. Los árboles que al momento de la evaluación inicial del rodal no tengan el tamaño suficiente para ser considerados como integrantes de la tabla de rodal, en el período de crecimiento podrán alcanzar el tamaño mínimo y por lo tanto deben ser considerados.

Husch cita una serie de ecuaciones de balance para expresar el volumen bruto y neto del rodal, así como su crecimiento entre el estado inicial y final (Husch, B et al. 1993).

6.-Clasificación de los modelos de crecimiento forestales

Dada la enorme complejidad en que se desarrollan los ecosistemas forestales, no es conveniente proponer una metodología única y aplicable a todos los rodales para realizar buenas estimaciones de crecimiento. Por ello se describe brevemente los diferentes tipos de modelos básicos que se pueden utilizar dependiendo del tipo de rodales que se trate (Philip, M. 1998):

A-1 Plantaciones coetáneas de una sola especie.

Se trata del caso más simple, y el modelo puede ser tratado de dos formas:

A-1.1. Modelo de crecimiento de rodal. Se describe el rodal con parámetros generales y agregados a nivel de superficie: típicamente se utiliza el área basal por hectárea, el número de árboles por hectárea, la altura dominante, etc.

A-1.2 Modelo de crecimiento de árboles individuales. Se considera el rodal como un agregado de árboles, el cual a su vez puede ser modelado de dos formas:

A.1.2.1. Modelos dependientes de distancia. Se considera que las variables que definen los factores de crecimiento del árbol, están dependiendo directamente de la competencia puntual que cada árbol tiene en su entorno.

A.1.2.2. Modelos independientes de distancia.- No se modela cada árbol por separado sino como sujeto de una simulación desagregada desde el nivel de rodal y sometida a competencia agregada y definida por los parámetros agregados a nivel del rodal.

B Rodales multietáneos mixtos. Se predice el estado futuro del rodal utilizando distintos métodos (Philip, M. 1998), (Husch, B. et al. 1993). Es el caso más complejo ya que existen varias especies en interacción, con correlaciones que pueden ser positivas, nulas o negativas. Estos complejos fenómenos naturales ocurren en condiciones de competencia simultánea por los factores de crecimiento y de dinámica natural en que estos bosques se desarrollan. La modelación en este caso de los componentes del crecimiento resulta bastante compleja, difícil de modelar, costosa de medir y habitualmente poco rentable económicamente. Es tradicional considerar la proyección de los rodales como “caja negra” donde se registran el estado inicial y final del rodal durante un período de crecimiento, midiendo la mortalidad, el ingreso y la corta que se produce en ese período. Los métodos de proyección de tablas de rodal han sido extensamente publicadas, destacándose entre ellas los siguientes supuestos sobre el crecimiento diametral: i) todos los árboles en cada clase diamétrica se ubican en el valor clase y que todos los árboles crecerán a la tasa promedio de la clase; ii) en cada clase diamétrica los árboles están uniformemente distribuidos a través de la clase y cada árbol crecerá a la tasa promedio de la clase, generándose una razón de movimiento de clases y iii) reconoce la actual posición de los árboles en la clase diamétrica y se aplica el crecimiento diamétrico para cada árbol individual, de acuerdo a la función de crecimiento diametral.

7.-Modelos de simulación y tablas de rendimiento en Chile

Los modelos de simulación parecen ser la herramienta más adecuada para la proyección de crecimiento de rodales ya que habitualmente son construidos específicamente para este objetivo. Debe considerar explícitamente en su construcción tanto la variabilidad geográfica de ocupación de los rodales, de sitios, de niveles de densidad, de crecimiento y mortalidad natural como de intervenciones silvícola - cuando ha sido construido para ello. Uno de los grandes objetivos de la dasometría es la construcción de tablas de rendimiento, entendidas como una presentación tabulada de los distintos rendimientos de una especie frente a variaciones de sitio y edad. Este concepto tradicional es evaluado a través de los modelos de simulación. En Chile se han construido específicamente algunos simuladores y tablas de rendimiento para las especies *Pinus radiata* D.Don, *Eucaliptus globulus* Labill y *Drimys winteri* Forst.

En pino insigne se han construido 5 versiones del modelo Radiata, siendo la versión Radiata 1.0 un modelo de simulación agregado de rodal (Morales et al., 1979), y la última, versión en que se generan tablas de rodal por desagregación del modelo original Radiata Plus V.4.0 (Peters, R. et al. 1999). En esta especie también se ha construido un modelo de crecimiento de árboles individuales, dependientes de distancia denominado Ralind (Corvalán, P. 1985). En Eucalipto se ha construido un simulador de crecimiento agregado denominado EucaSim.

En canelo, Corvalán construyó un simulador de crecimiento para renovales de esta especie denominado Winteri, que predice el volumen en pie futuro sin intervenciones a partir del índice de sitio y el volumen en pie inicial (Corvalán, P. 1987).

Los tres modelos tipo anteriores se describen brevemente a continuación:

7.1. RADIATA 1.0. Modelo de simulación agregado de Rodal.-

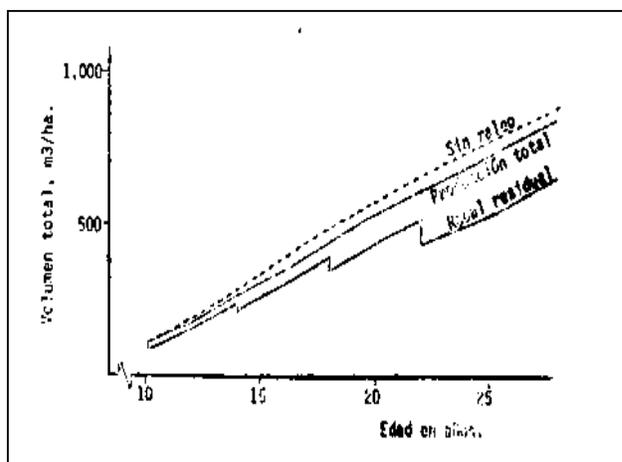
RADIATA Es un simulador construido y diseñado para predecir el desarrollo de las plantaciones de pino insigne localizadas en tres áreas de Chile: Concepción–Arauco, Arenales y Maule. Simula el crecimiento y producción de madera en pie tanto para rodales sin intervenciones silviculturales como para rodales sometidos a prácticas de raleo (Morales, R. et al., 1981).

RADIATA utiliza variables de estado que caracterizan la condición de un rodal en un punto del tiempo simulado: edad, altura dominante, número de árboles vivos por hectárea, área basal total con corteza de los árboles vivos, diámetro del árbol de área basal media y volumen de madera en pie hasta distintos diámetros límites de utilización.

Para los efectos de activar la simulación se requiere conocer la edad, la altura dominante, el número de árboles vivos y el área basal al estado inicial. Una vez definidos, se calcula el estado del rodal antes de comenzar el período de simulación. Se define el raleo en área basal, número de árboles por hectárea y volumen a extraer. El crecimiento se define a través de relaciones funcionales de transición las cuales proyectan las variables de estado iniciales en el período. Una vez proyectadas éstas, se estima el resto de las variables de estado a través de funciones de transformación a volúmenes hasta diámetros límites de utilización..

La variable de control silvicultural es el raleo, el cual puede ser realizado durante el período de simulación.

El simulador entrega como salida los parámetros agregados de rodal y las tablas de rendimiento a distintos diámetros límites de utilización: 10, 15, 20 y 25 cm y entre éstos, así como los productos del raleo.



A modo de ilustración se grafica una serie de corridas de simulación realizadas sobre un rodal tipo ubicado en la zona Concepción-Arauco, de 10 años con índice de sitio 34,9 metros y 107 m^3/ha , área basal de 21,9 m^2/ha y diámetro medio cuadrático de 13,8 cm.

Se compara la producción del rodal sin intervención versus el rodal con 4 raleos. También se evalúa la producción total que es el volumen en pie más lo cortado.

Se infiere de la comparación que la producción total es siempre mayor en el rodal sin intervenir que en el rodal raleado.

7.2. RALIND. Modelo de simulación de árboles individuales para Pino insigne-

“Ralind” es un simulador que permite evaluar el estado actual o futuro de un conjunto de árboles de pino insigne establecidos en una parcela de 250 m^2 y sometidos a decisiones de raleo. Para cada árbol se registra su DAP y la altura al momento inicial.

Este modelo utiliza como variables de predicción a nivel del rodal la edad y el índice de sitio. Como variables a nivel del árbol utiliza la posición espacial de cada árbol, su DAP, altura total, índices de competencia y sobrevivencia.

El modelo de crecimiento diametral se ajustó en función del DAP, la edad y el área basal competidora y liberada por raleos y mortalidad natural en el período, en radios variables en torno al árbol objeto.

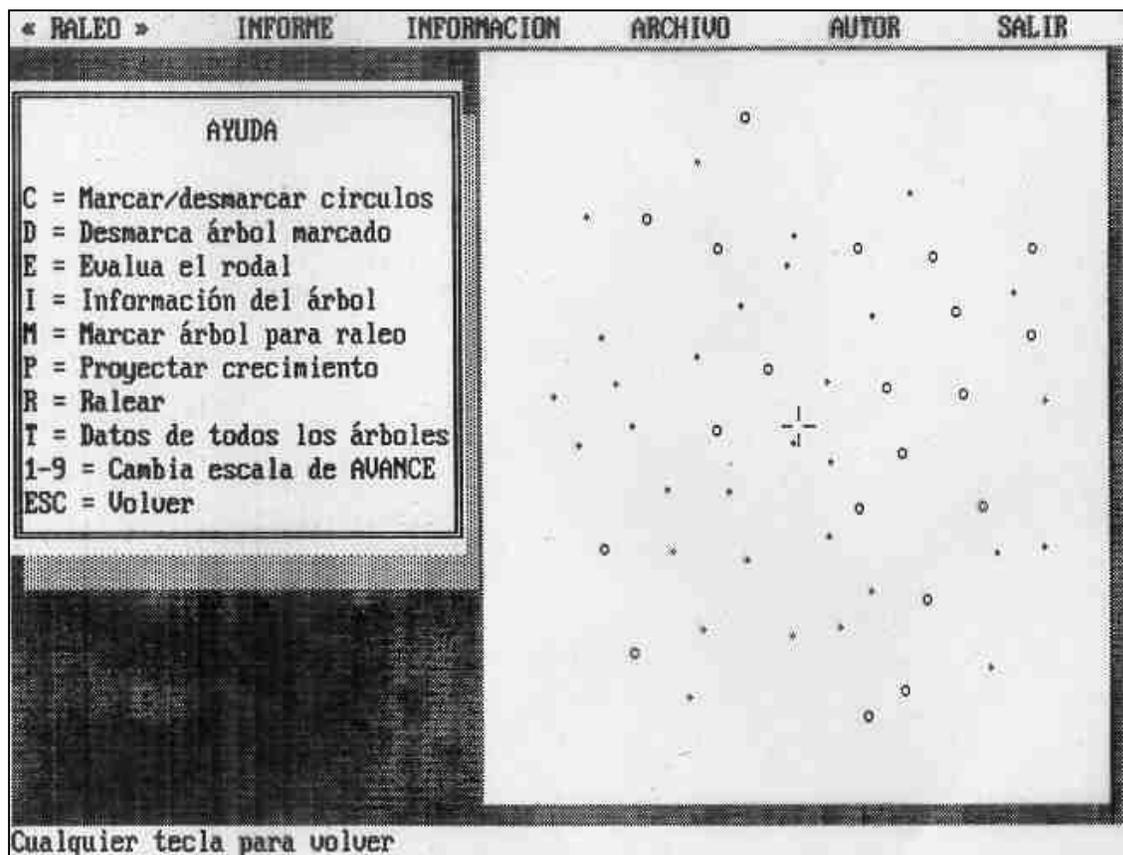
El modelo de crecimiento en altura elegido se ajustó como función de su DAP, edad, altura e índices de competencia de Bella (Corvalán, P., 1983)

La mortalidad para los árboles no raleados se modeló como una variable aleatoria con probabilidad variable en función de su edad y DAP.

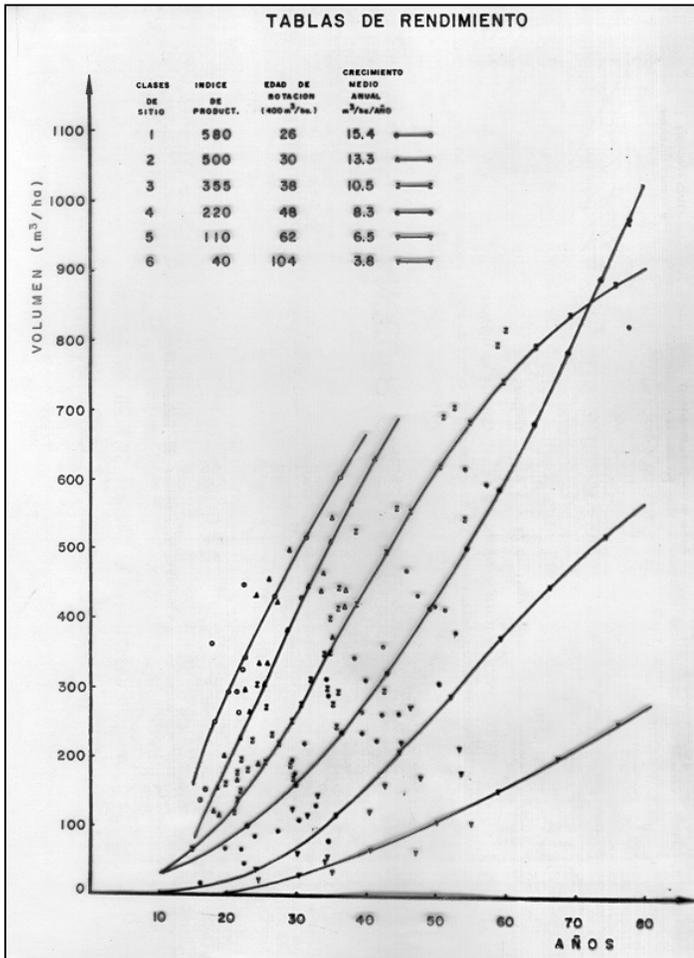
Este modelo utiliza como variables dependientes a nivel del rodal el área basal y el diámetro cuadrático medio. Como variables a nivel del árbol utiliza la tasa de mortalidad, los crecimientos y la altura total.

El modelo se evalúa a nivel del árbol y del rodal antes y después del raleo.

El simulador muestra en pantalla la posición y tamaño del árbol con un círculo, lo que permite facilitar al usuario la seleccionar los árboles a ralear.



7.3. Winteri. Un simulador de crecimiento para renovales de canelo en la décima región



El modelo de productividad se construyó utilizando el modelo de Chapman-Richards donde la función está dada por la ecuación:

$$V = A * (1 - b * e^{-k * t})^{1/(1-m)}$$

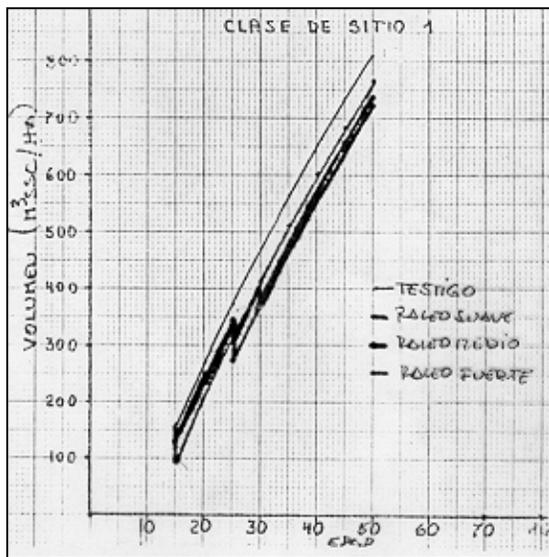
Donde:

V es el volumen por hectárea a la edad t
 A, b, k, m son parámetros que dependen del sitio, que fueron ajustados independientemente por clases de sitio.

Las funciones de productividad resultantes son polimórficas no disjuntas y la edad clave fue fijada a los 35 años, generando los valores que se aprecian en el gráfico.

Se observa claramente que la dispersión de edades está asociada a los valores de productividad, siendo las clases de sitio extremas (1 y 6) las de menor rango y las centrales (3 y 4) las de mayor amplitud.

Se observa con claridad que las variaciones de índice de productividad tienen una relación proporcional entre sus valores extremos de 4:1



El modelo de Chapman-Richards indicado puede ser expresado mediante algunas transformaciones en un modelo dinámico recursivo, donde el volumen futuro dependerá básicamente de su volumen inicial y de los parámetros de la función para su clase de sitio (Corvalán, P. 1987).

En el gráfico se ilustra algunos casos de simulación de un rodal inicial sometido a distintos tratamientos: testigo, raleo suave al 10% del volumen 4 veces cada 5 años, raleo mediano 20% del volumen 2 veces cada 10 años y un raleo fuerte al 40% del volumen una vez.

Referencias Bibliográficas

- Corvalán, P., 1987. Winteri: Un simulador de crecimiento para renovales de canelo (*Drimys winteri* Forst) en la Décima Región. CONAF. Programa de Manejo Forestal.
- Corvalán, P., 1983. Ralind: Un simulador de raleo y crecimiento de árboles individuales de Pino insigne. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Departamento de Silvicultura y Manejo Mecnografiado.-
- Corvalán, P., Araya, L., Calquín, R., Loewe, V. y Niebuhr, S. 1987 El Canelo: Una alternativa de desarrollo forestal para la X Región. Volumen IV. RESULTADOS. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Ministerio de Agricultura. FIA.
- García, O. 1970.- Indices de sitio para pino insigne en Chile. Instituto Forestal. Serie de Investigación Publicación N° 2, Santiago. Chile.
- Husch, B., Miller, C. and Beers, T. 1993. Forest Mensuration. Krieger Publishing Company, Third Edition Malabar, Florida.
- Lavery P, 1986. Plantation Forestry with *Pinus radiata* Review Papers. Paper N° 12. School of Forestry. University of Canterbury. Christchurch, New Zealand.
- Lewis, N.B. and Ferguson, I.S.1993. Management of Radiata Pine. Inkata Press. Melborne, Sydney. Australia
- Morales, R., Weintraub, A., Peters, R. y García, J. 1979.- “Modelos de simulación y manejo para plantaciones forestales”. FO:DP/CHI/76/003. Documento de trabajo N° 30. Santiago de Chile.
- Morales, R., Weintraub, A., Olivares, B. y Peters, R. 1981.- “Modelo para el manejo de plantaciones de pino insigne”. FO:DP/CHI/76/003. Documento de trabajo N° 36. Santiago de Chile.
- Peters, R. 1999.-Modelo Nacional de Simulación de Pino Radiata. CD.
- Philip, M. 1998.- Measuring trees and forests.- Second Edition. CABI Publishing. UK